



# 2012

## EVALUACIÓN BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DEL EFECTO DEL ENCOSTRAMIENTO SOBRE LA EMERGENCIA DE SEMILLAS DE SOYA (*Glycine max*) EN TYPIC Y VERTIC HAPLUSTOLLS DEL VALLE DEL CAUCA



**Andrés Alexander Toro Sierra**

UNIVERSIDAD DEL VALLE

**EVALUACIÓN BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DEL EFECTO DEL  
ENCOSTRAMIENTO SOBRE LA EMERGENCIA DE SEMILLAS DE SOYA  
(*Glycine max*) EN TYPIC Y VERTIC HAPLUSTOLLS DEL VALLE DEL CAUCA**

**ANDRES ALEXANDER TORO SIERRA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA AGRICOLA  
SANTIAGO DE CALI  
2012**

**EVALUACIÓN BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DEL EFECTO DEL  
ENCOSTRAMIENTO SOBRE LA EMERGENCIA DE SEMILLAS DE SOYA  
(*Glycine max*) EN TYPIC Y VERTIC HAPLUSTOLLS DEL VALLE DEL CAUCA**

**Presentado por:**

**ANDRES ALEXANDER TORO SIERRA**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcia para optar por el título  
de Ingeniero Agrícola**

**PhD. SANDRO NOLAN IPAZ CUASTUMAL**

**Director**

**MSc. EDGAR IVAN ESTRADA**

**Director**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA**

**FACULTAD DE INGENIERIAS**

**PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA AGRICOLA**

**SANTIAGO DE CALI**

**2012**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Santiago de Cali, Agosto 2012.**

***Dedicatoria***

***A mi madre, mi padre y mi hermana***

*Por su apoyo, por confiar en mí y por ser el motor de mi vida*

## **Agradecimientos**

*A Sandro Nolan Ipaz, director de proyecto por sus útiles enseñanzas, orientación, colaboración y por confiarme la realización de este trabajo.*

*A Edgar Iván Estrada, director del proyecto por sus valiosos aportes.*

*A los profesores de la Universidad del Valle y de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira por contribuir a mi formación como persona e ingeniero.*

*A los evaluadores por su compromiso y aportes en la evaluación de este trabajo de investigación.*

*A los compañeros que formaron parte de este trabajo de investigación, Diana María Castilla, Diana Fernanda Gutiérrez y en especial a Wilmer Mendieta.*

*A mis compañeros y amigos por el tiempo compartido y por hacer agradable el proceso del aprendizaje, especialmente a Oscar Rendón, Jhon Jairo Valencia, Edwin Zúñiga, Giovanni Cortes, Ximena Prado, Marilyn Urrutia, Isabel García, Jeniffer Montenegro, Esmeralda Mosquera y Maricela Trejos.*

*A mis padres Janel Sierra, Leobardo Toro, mi hermana Dayanna Toro y mi tía Jenny Sierra por su apoyo, contribución y paciencia en este proceso.*

*A Dios por darme la oportunidad de aprender el arte de la Ingeniería Agrícola.*

## TABLA DE CONTENIDO

Contenido	Pag.
1 RESUMEN .....	1
2 INTRODUCCION.....	2
3 JUSTIFICACION .....	4
4 OBJETIVOS .....	5
4.1 GENERAL.....	5
4.2 ESPECIFICOS .....	5
5 HIPOTESIS .....	6
5.1 GENERAL.....	6
5.2 ESPECIFICAS.....	6
6 REVISION DE LITERATURA .....	7
6.1 DEGRADACION DE LOS SUELOS .....	7
6.2 ENCOSTRAMIENTO DEL SUELO .....	8
6.2.1 Causas del encostramiento .....	8
6.2.2 Tipos de encostramiento.....	9
6.2.3 Factores que inciden y mecanismos de encostramiento .....	9
6.2.4 Consecuencias del encostramiento .....	13
6.3 ESTRUCTURA MORFOLOGICA DE LA SEMILLA DE SOYA .....	14
6.3.1 Tegumento .....	14
6.3.2 Eje embrionario .....	15
6.3.3 Tejidos de reserva.....	15
6.4 ASPECTOS IMPORTANTES DE LA SEMILLA DE SOYA .....	16
6.4.1 Calidad .....	16
6.4.2 Germinación.....	17
6.4.3 Emergencia .....	17
6.4.4 Vigor .....	18
6.5 PLÁNTULAS NORMALES Y ANORMALES .....	18
6.6 MANEJO DEL SUELO EN LAS AREAS DE ESTUDIO .....	20

6.6.1	Manejo del suelo para el cultivo de caña de azúcar en el Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT- Palmira.....	20
6.6.2	Manejo del suelo para el cultivo de caña de azúcar en la Reserva Natural EL HATICO-CERRITO .....	22
6.6.3	Bosque natural .....	24
6.7	DESCRIPCION DE LOS SUELOS EN LAS ZONAS DE ESTUDIO .....	24
6.7.1	Suelos de orden Molisol .....	25
6.7.2	Suelos de orden molisol con características verticas.....	26
6.7.3	Suelo testigo en la hacienda EL HATICO .....	28
6.7.4	Suelo testigo en la hacienda CIAT.....	29
7	MATERIALES Y METODOS.....	30
7.1	LOCALIZACION .....	30
7.2	TECNICA DE MUESTREO .....	31
7.3	SUSTRATOS DE GERMINACIÓN .....	32
7.4	PREPARACION DE LA BANDEJAS CON SUELO .....	33
7.4.1	Sustancias húmicas (álcali orgánico) como acondicionador físico del suelo	33
7.4.2	Aplicación de lluvia simulada.....	34
7.5	CARACTERIZACION DE LAS MUESTRAS DE SUELO .....	36
7.5.1	Caracterización química .....	36
7.5.2	Caracterización física.....	37
7.6	ENSAYO DE GERMINACION Y EMERGENCIA DE PLANTULAS.....	37
7.6.1	Semillas.....	37
7.6.2	Siembra.....	38
7.6.3	Porcentaje de emergencia (%E) e índice de velocidad de emergencia (IVE)	38
7.7	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	39
7.8	ANALISIS DE DATOS.....	40
8	RESULTADOS Y DISCUSION .....	41
8.1	CARACTERIZACION FISICA.....	41
8.2	CARACTERIZACION QUIMICA.....	46
8.3	ANALISIS DE PARAMETROS DETERMINADOS.....	47
8.3.1	Análisis de factores fijos para porcentaje de emergencia.....	48



8.3.2	Análisis de factores fijos para Índice de velocidad de emergencia (IVE)	52
8.4	ANALISIS DE CORRELACIONES .....	57
8.5	DETERMINACION DEL EFECTO DEL ENCOSTRAMIENTO DE TYPIC Y VERTIC HAPLUSTOLLS SOBRE LAS VARIABLES ANALIZADAS .....	59
9	CONCLUSIONES.....	63
10	RECOMENDACIONES .....	65
11	BIBLIOGRAFIA .....	66
12	ANEXOS .....	75

## LISTA DE TABLAS

	Pag.
<b>Tabla 1.</b> Arreglo factorial para el análisis de la información.....	39
<b>Tabla 2.</b> Resumen de textura inicial de los suelos.....	41
<b>Tabla 2A.</b> Caracterización física inicial para Typic Haplustoll y Vertic Haplustoll bajo diferentes manejos.....	42
<b>Tabla 2B.</b> Comparación de los suelos para cada manejo en función de las propiedades físicas.....	42
<b>Tabla 3.</b> Resistencia a la ruptura en el primer y último día de conteo desde siembra.....	43
<b>Tabla 4.</b> Humedad del suelo en el primer ultimo día de conteo desde siembra.....	43
<b>Tabla 5.</b> Espesor y Capa Disgregada de las costras formadas en los suelos.....	45
<b>Tabla 6.</b> Resumen de caracterización química inicial.....	46
<b>Tabla 7.</b> Índice de velocidad de emergencia según interacción Suelo * Dosis * Manejo.....	55

## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
<b>Figura 1.</b> Estructura morfológica de la semilla.....	15
<b>Figura 2.</b> Desarrollo y estados vegetativos de la semilla de soya.....	16
<b>Figura 3.</b> Ciclo del cultivo convencional de la caña de azúcar.....	21
<b>Figura 4.</b> Labores de manejo del cultivo agroecológico de la caña de azúcar en la Reserva Natural El Hatico.....	23
<b>Figura 5.</b> Ubicación de zonas de estudio (CIAT y El Hatico).....	30
<b>Figura 6.</b> Ordenes de suelos utilizados como sustratos, clasificados por sitio de muestreo.....	32
<b>Figura 7.</b> Confinamiento de las muestras de suelo.....	33
<b>Figura 8.</b> Simulador de lluvia y muestras bajo lluvia simulada.....	35
<b>Figura 9.</b> Porcentajes de emergencia según la Dosis de aplicación de sustancias húmicas (Álcali Orgánico).....	48
<b>Figura 10.</b> Diferencias significativas del Porcentajes de emergencia según Manejo del suelo.....	50
<b>Figura 11.</b> Porcentajes de emergencia según interacción Dosis * Manejo.....	51
<b>Figura 12.</b> Porcentaje de emergencia según interacción Manejo * Profundidad.....	52
<b>Figura 13.</b> Influencia de las dosis de aplicación de álcali orgánico sobre el índice de velocidad de emergencia.....	53
<b>Figura 14.</b> Índice de velocidad de emergencia según Manejo.....	54
<b>Figura 15.</b> Índice de velocidad de emergencia según interacción Dosis Vs Manejo.....	55
<b>Figura 16.</b> Índice de velocidad de emergencia según interacción Manejo * Profundidad.....	56
<b>Figura 17.</b> Efectos del encostramiento en la fisiología de la plántula.....	62

## LISTA DE ANEXOS

	Pag.
<b>ANEXO 1.</b> Anova para porcentaje de emergencia bajo factores Dosis, Manejo, Suelo y Profundidad de siembra.....	75
<b>ANEXO 2.</b> Anova para índice de velocidad de emergencia bajo los factores Dosis, Manejo, Suelo y Profundidad de siembra.....	76
<b>ANEXO 3.</b> Mapa de puntos de muestreo Haciendo El Hatico.....	77
<b>ANEXO 4.</b> Taxonomía y coordenadas de los puntos de muestreo en la Hacienda El Hatico.....	77
<b>ANEXO 5.</b> Mapa de puntos de muestreo en el CIAT.....	78
<b>ANEXO 6.</b> Taxonomía y coordenadas de los puntos de muestreo en el CIAT.....	78
<b>ANEXO 7.</b> Promedio de las características físicas iniciales de acuerdo a manejo y tipo de suelo.....	79
<b>ANEXO 8.</b> Promedio de las características químicas iniciales de acuerdo a manejo y tipo de suelo.....	80
<b>ANEXO 9.</b> Tabla de correlaciones de datos obtenidos.....	81
<b>ANEXO 10.</b> Simulador de lluvia.....	82
<b>ANEXO 11.</b> Ficha técnica del Alkali Orgánico utilizado.....	85

## 1 RESUMEN

El encostramiento es uno de los tipos de degradación de suelos que ha aumentado en severidad tanto como en área afectada, ganando gran importancia en el entorno agroecológico. Este fenómeno produce una capa más compacta en la superficie de suelo que puede ser desde unos pocos milímetros hasta varios centímetros, que se caracteriza por impedir el intercambio gaseoso entre la atmósfera y el suelo, afectando negativamente las propiedades hidráulicas del suelo y al endurecerse impide la emergencia de plántulas, causando fracasos en el establecimiento de cultivos y aumentando los costos de producción.

Este trabajo de investigación se llevó a cabo para muestras de suelo bajo manejo agronómico tradicional y alternativo en el cultivo de *caña de azúcar*, los suelos pertenecen a las haciendas “CIAT” y “El Hatico”, localizadas en dos zonas geográficas diferentes del Valle del Cauca. Las muestras superficiales pertenecen a dos tipos de suelos Typic y Vertic Haplustoll, las cuales se caracterizaron física y químicamente, posteriormente se llevó a cabo un ensayo de germinación de soya (*Glycine max*) en dichos suelos, con la finalidad de determinar el efecto del encostramiento sobre la emergencia de soya (*Glycine max*). Se utilizó un modelo factorial con arreglo experimental de bloques completos al azar, se utilizó el software estadístico SPSS (PASW) para realizar el análisis de varianza (ANOVA) obteniendo en la mayoría de los casos diferencias altamente significativas.

Se determinó el porcentaje de emergencia (%E) e índice de velocidad de emergencia (IVE) y se correlacionó con la resistencia a la ruptura, contenido de humedad del suelo, espesor de costra y espesor de capa disgregada.

## 2 INTRODUCCION

Gran parte de la creciente población mundial depende de las actividades agrícolas como principal sustento económico; pese a esto, la producción de alimentos no es directamente proporcional. En busca de satisfacer el creciente requerimiento de alimentos, el suelo se somete a sistemas de producción intensivos bajo manejos no apropiados, que degradan sus características físicas, químicas y biológicas. De esta forma, la degradación se ha convertido en uno de los principales problemas en el mundo, ya que un cuarto de la población mundial (1.500 millones de personas), dependen directamente de los suelos sujetos a degradación (FAO, 2008).

Una evidencia de la degradación de los suelos es el encostramiento, producto de la acción combinada de la excesiva mecanización agrícola, efectos de intemperización, y por la acción directa de las gotas de lluvia sobre el suelo sin cobertura. La consecuencia más común del encostramiento es el efecto negativo sobre el régimen hídrico del suelo, lo cual se ve reflejado en la productividad de los cultivos (Bai, 2008).

La eliminación de la cobertura del suelo, vegetación natural o cultivada, lo deja expuesto a la acción directa de las gotas de lluvia, con lo que se facilita la formación de costras, que pueden llevar a una erosión severa de los suelos; estas costras, por su baja porosidad, reducen la infiltración del agua en el suelo, y es una de las causas de la desertificación progresiva, como ocurre en varias regiones de África.

La formación de costras impide la emergencia de las plántulas, debido a que estas no poseen la fuerza necesaria para romper la costra del suelo, y limita el intercambio gaseoso con la atmósfera, lo que causa, a largo plazo una deficiencia de oxígeno inmediatamente debajo de la capa superficial encostrada.

El encostramiento afecta negativamente las propiedades hidráulicas del suelo, como por ejemplo, la tasa de infiltración, favoreciendo la erosión del mismo. Por otra parte, la resistencia de la costra limita la emergencia de las plántulas, y por ende reduce el porcentaje de emergencia en algunas especies de cultivos. Esto se refleja en el decremento de la productividad de los suelos e incremento de los costos de producción agrícola.

En la germinación y emergencia de plántulas de soya, además del encostramiento, inciden factores que afectan la calidad de la semilla como los genéticos y los que dependen directamente de los métodos de almacenamiento y distribución (humedad y temperatura de almacenamiento, además del daño mecánico producido en el empaquetamiento, embalaje y transporte).

El cultivo de soya ha pasado de 90 millones a mas de 102 millones de hectáreas cultivadas, incrementó su rendimiento de 2.44 a 2.56 toneladas por hectárea y su producción de 219.7 millones a 261.6 millones de toneladas entre 2007 y 2010; esto aunado a su valor nutricional y sus propiedades benéficas para el suelo hace que su cultivo haya sido categorizado como muy importante para garantizar la seguridad alimentaria (FAO, 2011).

El propósito de éste trabajo fue estudiar bajo condiciones controladas los efectos del encostramiento sobre la emergencia de plántulas de soya (*Glycine max*) en Typic y Vertic Haplustolls del Valle del Cauca.

### 3 JUSTIFICACION

La degradación de los suelos es un problema de escala mundial que se presenta principalmente en los países de vocación agrícola en grandes extensiones de terreno. Esta problemática crece anualmente en área afectada y severidad.

La degradación estructural del suelo se presenta en áreas de cultivos intensivos, como por ejemplo, el valle geográfico del río Cauca, que está sometido a la excesiva mecanización agrícola, generando un decremento del rendimiento y productividad de los cultivos. Los efectos inmediatos de este deterioro se reflejan en la alteración del intercambio gaseoso y el régimen hídrico del suelo, afectando el crecimiento radicular.

La decreciente emergencia de semillas debida al encostramiento superficial, es una de las principales causas del incremento en las bajas poblaciones establecidas en los campos de siembra, el cual genera costos adicionales en semillas, mecanización y mano de obra en las resiembras.

Con este proyecto se pretendió estudiar el efecto del encostramiento sobre la emergencia de la semilla de soya, ya que esta es una especie de cultivo que expresa una alta susceptibilidad a los efectos del encostramiento, dada la fragilidad de sus estructuras esenciales (Hipocotílo, Cotiledones y Plúmula) y tipo de emergencia (epigea). Se planteó con la finalidad de mostrar el grado de deterioro que poseen los suelos sometidos al cultivo intensivo de caña de azúcar y la diferencia con los cultivados con manejo alternativo. El estudio se realizó en Typic y Vertic Haplustolls obtenidos de áreas bajo manejo tradicional y alternativo de caña de azúcar, y suelos bajo bosque.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 GENERAL

Evaluar los efectos del encostramiento sobre la emergencia de semillas de soya (*Glycine max*) bajo dos profundidades de siembra en suelos Typic y Vertic Haplustolls del Valle del Cauca, sometidos manejo agrícola tradicional y alternativo de caña de azúcar y tratado con diferentes dosis de álcali orgánico.

### 4.2 ESPECIFICOS

- Evaluar la emergencia de plántulas de soya (*Glycine max*) bajo 2 profundidades de siembra, la resistencia a la ruptura de la costra, espesor de la costra y su capa disgregada formadas en Typic y Vertic Haplustolls tratados con 4 dosis de álcali orgánico.
- Determinar el grado de correlación existente entre resistencia a la ruptura, espesor de costra y espesor de capa disgregada con la información de porcentaje de emergencia e índice de velocidad de emergencia, determinados en suelos de orden Typic y Vertic Haplustolls tratados con 4 dosis de álcali orgánico.
- Determinar el efecto del encostramiento de Typic y Vertic Haplustolls tratados con 4 dosis de álcali orgánico sobre el porcentaje de emergencia e índice de velocidad de emergencia de plántulas de soya (*Glycine max*).



## **5 HIPOTESIS**

### **5.1 GENERAL**

El manejo de suelos, la profundidad de siembra y la aplicación de álcali orgánico en los Typic y Vertic Haplustolls inciden directamente sobre la emergencia de plántulas de soya (*Glycine max*).

### **5.2 ESPECIFICAS**

- El porcentaje de emergencia será menor en los suelos bajo manejo tradicional, independientemente del tipo de suelo (Typic Haplustolls y Vertic Haplustolls).
- La relación entre la profundidad de siembra y el porcentaje de emergencia o el índice de velocidad de emergencia de plántulas es inversamente proporcional y es indiferentemente del tipo de suelo (Typic Haplustolls /Vertic Haplustolls).
- Los mayores porcentajes de emergencia se presentaran para los suelos con mayores dosis de aplicación de sustancias húmicas y manejo bosque.
- Los Índices de Velocidad de emergencia más altos se presentaran para los suelos bajo manejo en bosque.
- Los Índices de Velocidad de emergencia más altos se presentaran para las mayores dosis de álcali orgánico.

## **6 REVISION DE LITERATURA**

### **6.1 DEGRADACION DE LOS SUELOS**

El uso intensivo de los suelos y prácticas de manejo no adecuadas, causan deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los mismos, evidenciándose en el afloramiento de horizontes indeseables, erosión, inundaciones, compactación, limitaciones al desarrollo de raíces, baja emergencia de plántulas, drenaje deficiente, sequías frecuentes, entre otros (Bravo, 1995, citado por Lozano, 2002).

La degradación de suelos y especialmente la erosión está aumentando continuamente a nivel mundial. En el trópico, la superficie afectada ha llegado a niveles alarmantes, y dos razones explican su incremento: las altas intensidades de las lluvias y el manejo (sobrepastoreo, uso inapropiado del suelo y de fertilizantes). En muchos casos, los problemas socioeconómicos como la alta tasa de crecimiento de la población en combinación con la limitación de tierras disponibles y su distribución inadecuada, generan uso intensivo del suelo con bajo grado de rotación de cultivos y excesivo laboreo de los mismos (Thierfelder, 2003).

La degradación del suelo tiene también importantes implicaciones para la mitigación y la adaptación al cambio climático, ya que la pérdida de biomasa y de materia orgánica del suelo desprende carbono hacia la atmósfera y afecta a la calidad del suelo y a su capacidad de mantener el agua y los nutrientes (FAO, 2008).

## **6.2 ENCOSTRAMIENTO DEL SUELO**

Encostramiento se denomina a la formación de costras en la superficie del suelo después de que la parte superior del suelo se seca. Estas costras pueden impedir la germinación de la semilla, reducir la infiltración del agua e incrementar el escurrimiento. Los atributos del encostramiento son la consistencia (cuando está seco), y el grosor de la costra (FAO, 2009). El encostramiento también limita el intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera.

### **6.2.1 Causas del encostramiento**

Se han encontrado diversos factores causantes de formación de costras. El primero es el efecto destructivo del impacto de las gotas de lluvia sobre los agregados de la superficie de los suelos con poca cobertura vegetal y estructuralmente débiles. El segundo es debido a la dispersión química de las arcillas durante la temporada de lluvias, que facilita la formación de costras más resistentes y de mayor espesor.

En cualquier caso, la combinación entre una mala gestión agrícola del suelo y su posterior abandono puede causar un proceso degradativo desde un punto de vista físico, que se iniciaría con el encostramiento y la posterior activación de procesos de erosión acelerada del suelo, que llevan a su pérdida gradual. También hay que considerar que toda esta secuencia de cambios lleva asociada la reducción del potencial de regeneración natural o revegetación. Esta cadena de acontecimientos puede llevar a un deterioro del medio natural hasta alcanzar niveles críticos, que pueden ser irreversibles (Regüés y Torri. 2002).

### **6.2.2 Tipos de encostramiento**

Los diferentes tipos de encostramiento se describen según FAO (1993):

- **Encostramiento estructural**

Se define como una capa superficial de suelo que varía de unos pocos milímetros a unos pocos centímetros, es mucho más compacta que el material bajo ella, y la importación de materiales externos no está implicada en la formación de la costra.

Las costras estructurales se forman también por fuerzas físicas como el pisoteo del ganado o el tráfico de maquinaria agrícola u otros vehículos.

- **Encostramiento deposicional**

Se forma cuando las partículas de suelo suspendidas en agua, se depositan sobre la superficie del suelo cuando el agua se infiltra o se evapora. Materiales externos y propios están siempre involucrados con la formación de una costra deposicional.

### **6.2.3 Factores que inciden y mecanismos de encostramiento**

Bajos contenidos de materia orgánica en el suelo generan: estructura débil, reducción del espacio poroso, inestabilidad de agregados. La lluvia y la escorrentía dispersan los agregados en partículas individuales que tapan los poros del suelo y sellan la superficie formando una costra deposicional al secarse.

Los suelos con alto contenido de sodio y magnesio son más propensos a la formación de costras superficiales ya que ellos se dispersan más fácilmente con ayuda de la lluvia y el riego. Los suelos finos son más susceptibles a la formación de costras; los suelos gruesos forman costras más delgadas y débiles.

Las actividades de labranza agotan la materia orgánica del suelo, además dejan el suelo desnudo y expuesto al impacto de las gotas de lluvia y la radiación solar, aumentando la dispersión del suelo y su temperatura, lo que acelera el secamiento del suelo y por ende la formación de costras más fuertes (USDA, 2008).

Los diversos factores que influyen sobre el encostramiento de suelos están descritos según FAO (1993):

- **Costras estructurales**

#### **Endurecimiento de la costra**

El endurecimiento de los suelos cultivados es un proceso de compactación, con aumento de la densidad, que se produce sin la aplicación de una carga externa. En la práctica es difícil distinguir entre los efectos de una carga aplicada externamente y el efecto interno causado por la humectación de un suelo débil e inestable. En la capa superficial del suelo labrado, durante y después de la humectación, el endurecimiento implica el colapso de algunas o todas las estructuras de agregados. El proceso de endurecimiento de costra se puede dividir en dos procesos físicamente distintos: el hundimiento y la contracción uniaxial.

- **Hundimiento:** Se produce durante y después del humedecimiento de un horizonte de suelo con agregados inestables. Los agregados se ablandan y se expanden simultáneamente, algunos o la totalidad del material de tamaño limo y arcilla quedan en suspensión aunque no como partículas individuales necesariamente. Bajo condiciones iónicas adecuadas, algunas de las fracciones de arcilla se dispersan. Los agregados se desintegran porque no poseen la fuerza suficiente para soportar las tensiones generadas por la rápida absorción de agua y la rápida liberación de calor

durante el humedecimiento, el aire atrapado y la acción mecánica del agua que se mueve rápidamente (FAO, 1993).

- **Contracción uniaxial:** La contracción es importante debido a que la proximidad entre las partículas de suelo al momento de secarse, contribuye al aumento de la resistencia del suelo; esta contracción es uniaxial y se presenta durante las primeras etapas de secado, se debe al realineamiento de las partículas disturbadas durante el humedecimiento. Tal realineamiento puede suceder sin que el suelo se agriete, solo si la fuerza que mantiene el suelo es lo suficientemente grande. Este punto es importante debido a que este tipo de fuerza es probable que se derive del potencial mátrico, y por lo tanto cuando se produce la contracción uniaxial puede ser un indicador de que la fuerza efectiva contribuye como componente dominante de la resistencia del suelo.

- **Costra deposicional**

Formadas por partículas en suspensión que se depositan sobre la superficie del suelo, son comunes en áreas limitadas de suelos cultivados y no cultivados. Las principales fuentes de partículas de suelo erosionado son:

- Inundaciones y agua de riego por surcos.
- Salpicadura de gotas de lluvia con partículas de suelo sueltas de las crestas o terrenos más altos.
- Desbordamiento de ríos y lagunas.
- Escorrentía y erosión laminar.

- **Mineralogía de la arcilla**

El encostramiento en todas sus formas representa la destrucción inicial de los agregados del suelo, por lo tanto, es importante revisar el material y las fuerzas que unen los dichos agregados. Estos se mantienen unidos gracias a las fuerzas electroquímicas que actúan uniendo las partículas de mineral de arcilla.

La estabilidad de agregados depende de la disposición de las partículas de suelo. El tipo de mineral de arcilla, sus características electroquímicas y la concentración eléctrica de la solución de suelo, determinan el tipo de asociación.

- **Tipo de labranza utilizada**

El uso de la labranza convencional y cultivos de ciclo corto a largo plazo dan origen a un descenso en el contenido de MO, debido a la poca incorporación de residuos vegetales; asociado a un alto descenso en la población de los microorganismos del suelo (Lobo & Pulido, 2006). Consecuentemente decrece rápidamente la estabilidad de los agregados del suelo e incrementa la susceptibilidad al sellado y encostramiento, siendo suficiente un evento de lluvia para el inicio de la formación de los mismos (Pagliai, 2003). Por otro lado, la labranza de conservación ha ganado importancia a nivel mundial en los últimos años, como un medio para proteger los recursos naturales y recuperar aquellos que han sido degradados, principalmente el suelo y el agua. En la labranza de conservación se retienen cantidades protectoras de residuos de cosecha en la superficie del suelo. Después de la siembra debe haber por lo menos 30% de la superficie del suelo cubierta por residuos (Zúñiga, 2003; FAO, 1992).

#### **6.2.4 Consecuencias del encostramiento**

Debido a la reducción de la infiltración del agua provocada por la costra, la escorrentía aumenta y en consecuencia, aumenta la erosión del suelo (Thierfelder, 2003).

La reflectancia de la luz del sol sobre la superficie de la costra es más alta en comparación con un suelo sin presencia de encostramiento, la temperatura del suelo puede ser más baja y la evaporación puede verse reducida. Esto podría afectar la germinación y emergencia de plántulas en climas templados (USDA, 2008).

El encostramiento ha adquirido gran importancia ecológica y económica ya que produce frecuentes fracasos en la siembra de cultivos por la no emergencia de las plántulas, el bajo número de plantas por unidad de superficie, las resiembras, los atrasos en la implantación de los cultivos, inciden aumentando costos y disminuyendo rendimientos; por otro lado, la presencia de costra afecta al balance hídrico y térmico del suelo, su fertilidad física y susceptibilidad a la erosión (Oliver, 2000).

Chartres (1992), citado por Bresson (1995), reportó conductividades hidráulicas que van desde >100 a 2 mm/h en suelos encostrados cultivados en el cinturón de trigo del sudeste de Australia. Esto puede retrasar directamente la imbibición de la semilla y por lo tanto la germinación y emergencia. Con frecuencia, el crecimiento de la planta es también limitado, sobre todo en zonas semiáridas donde el agua almacenada en el perfil de suelo antes de la siembra constituye una gran porción del agua disponible. La baja aireación también introduce condiciones de anoxia adversas para las plantas.

Arndt (1965), citado por Bresson (1995), afirma que las costras secas son los suficientemente fuertes para impedir o retardar la emergencia de las plántulas. Usando una sonda enterrada con movimiento hacia arriba, en condiciones de



campo, midió la impedancia mecánica que va desde los 600g de peso hasta los 2000g para las costras secas. Incluso si las plántulas emergen finalmente, el retraso, así como el daño y el estrés nutricional puede tener graves consecuencias para el rendimiento final del cultivo (White y Robson, 1989, citados por Bresson, 1995).

Según Braunack, (1994) el suelo debe mantener una condición de humedad adecuada o de lo contrario la emergencia del cultivo se vería reducida por el endurecimiento de la superficie del suelo.

La velocidad a la que se endurece la costra en comparación con el tiempo de aparición y establecimiento de los cultivos es fundamental al considerar la emergencia de las plántulas (Boiffin, 1984, citado por Bresson, 1995).

### **6.3 ESTRUCTURA MORFOLOGICA DE LA SEMILLA DE SOYA**

Las semillas de soya contienen estructuras típicas de una dicotiledónea epigea, su tamaño se estima entre tres y seis milímetros de grosor y su forma varía de ovoide a esférica (Mera, 1983, Citado por Muñoz, 1990).

Según Popinigis (1985) citado por Cárdenas y Cortes (1991) desde el punto de vista funcional, la semilla de soya está constituida por las siguientes partes:

#### **6.3.1 Tegumento**

Es la cobertura constituida por capas celulares originadas de los integumentos ovulares. Este puede ser de color amarillo, pardo, café, gris, verde o negro. Cuyas funciones son: mantener unidas y proteger las partes de la semilla, servir de

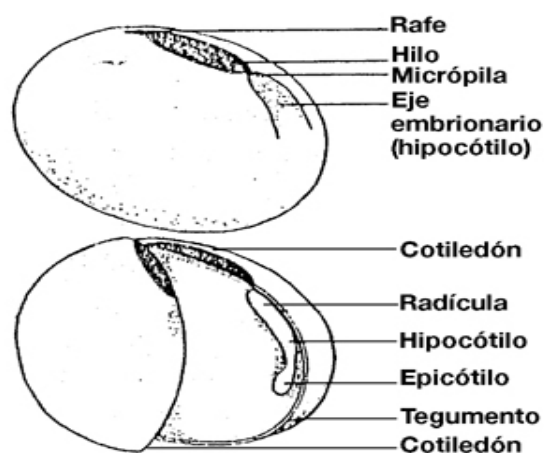
barrera para la entrada de microorganismos, mantener el balance hídrico, regular el intercambio gaseoso y la germinación causando latencia (Figura 2).

### 6.3.2 Eje embrionario

Es el encargado del inicio de la división celular y de crecer en dos direcciones: hacia arriba formando el epicótilo que consiste principalmente en un par de hojas plegadas que encierran un punto de crecimiento llamado plúmula. Por debajo se extiende el Hipocótilo y su extremo inferior es la radícula.

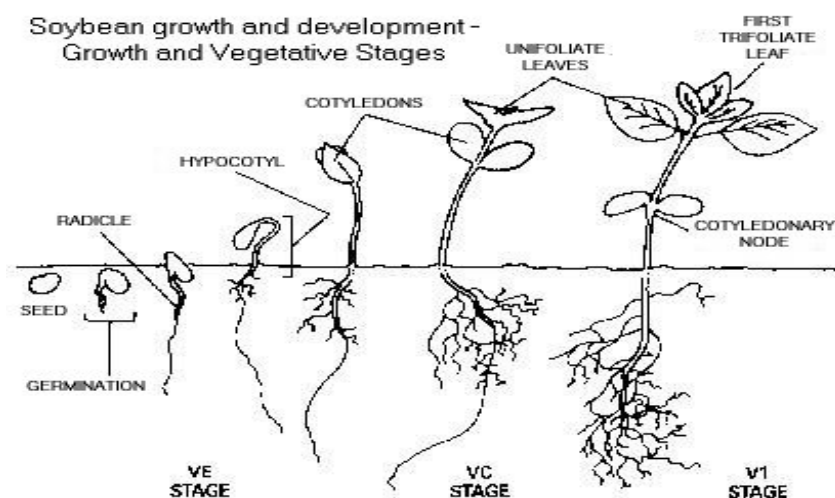
### 6.3.3 Tejidos de reserva

Para el caso de la soya, estos se encuentran en los cotiledones, actuando como proveedor de compuestos orgánicos en formas simples que pueden ser utilizados por el eje embrionario para la elaboración de nuevos tejidos.



**Figura 1.** Estructura morfológica de la semilla.

**Fuente:** <http://www.planetasoja.com.ar/index.php?sec=2&tra=2211&tit=2213> (Marzo 13, 2012)



**Figura 2.** Desarrollo y estados vegetativos de la semilla de soya.

**Fuente:** <http://web1.msue.msu.edu/imp/mods1/visuals/soypic05.jpg> (Noviembre 16, 2011)

## 6.4 ASPECTOS IMPORTANTES DE LA SEMILLA DE SOYA

### 6.4.1 Calidad

Se entiende por calidad de semillas a una serie de cualidades que deben reunir la semilla de manera integral; en general, las semillas que poseen alta calidad presentan un alto grado de pureza genética, bajo contenido de humedad, alta sanidad, alta viabilidad, alto vigor, bajo nivel de daño mecánico, buen tamaño, buen peso, alto grado de uniformidad y buena apariencia. El nivel de calidad se establece mediante análisis especiales (INTA, 2006).

La calidad fisiológica de las semillas está determinada por su historial. Durante ese periodo la calidad puede ser afectada por diversos factores entre los cuales cabe mencionar las condiciones climáticas y nutricionales durante el desarrollo y formación de las mismas, los métodos de cosecha, el secado, el beneficiamiento,

el contenido de humedad y las condiciones del almacenamiento (Harrington, 1973, citado por Alizaga, et al, 1994).

#### **6.4.2 Germinación**

Echandi y Camacho (1969) citados por Cárdenas y Cortes (1991), afirman que la germinación es el proceso de reinicio del crecimiento activo del embrión, caracterizado por la fractura de la cubierta y la emergencia de la plántula.

La soya germina a mayor velocidad según la temperatura y la humedad del suelo. En las condiciones del Valle del Cauca, la soya emerge del suelo entre cuatro y seis días después de la siembra.

La germinación en una prueba de laboratorio es la emergencia y el desarrollo de una plántula a una etapa donde los aspectos de sus estructuras esenciales indican si es o no es capaz de desarrollarse satisfactoriamente en una planta en condiciones favorables en el suelo.

#### **6.4.3 Emergencia**

La soya comienza a emerger cuando la semilla absorbe aproximadamente el 50% de su peso en agua. La raíz primaria es la primera en salir de la semilla. Poco después, el Hipocotílo (tallo) emerge y comienza a crecer hacia la superficie del suelo tirando de los cotiledones (hojas de la semilla) con él. Este Hipocotílo en forma de gancho se endereza una vez surge y los cotiledones se despliegan. La emergencia normalmente dura entre cinco y diez días dependiendo de la temperatura, las condiciones de humedad, la variedad y la profundidad de la siembra. Durante este tiempo, las raíces laterales también están comenzando a crecer a partir de la raíz primaria. Los pelos de raíz pueden ser visibles dentro de los cinco días de la siembra y proporcionan los nutrientes clave y las funciones de absorción de agua de la planta en esta primera etapa (McWilliams, et al, 1999).

Las condiciones ambientales en el campo rara vez son optimas, por lo que las semillas están sujetas al efecto de condiciones adversas tales como temperaturas extremas, exceso o deficiencia de agua, obstrucción mecánica en el suelo y microorganismos e insectos que pueden dañarla. Debido a esto, el porcentaje de emergencia de plántulas en el campo es generalmente menor al obtenido en el laboratorio, donde las condiciones ambientales están controladas (Perry, 1981, citado por Alizaga *et al*, 1987).

#### **6.4.4 Vigor**

El vigor de las semillas ha sido definido como la sumatoria total de aquellas propiedades internas que determinan su comportamiento durante la germinación y emergencia de las plántulas. Las semillas que muestran un buen comportamiento son consideradas de alto vigor, y aquellas que presentan un pobre comportamiento son llamadas semillas de bajo vigor (ISTA, 1995, citado por Salinas, et al, 2001).

### **6.5 PLÁNTULAS NORMALES Y ANORMALES**

Las siguientes definiciones son tomadas de ISTA (2005).

#### **Estructuras esenciales**

Una plántula, dependiendo de la especie en cuestión, depende de una combinación específica de las siguientes estructuras las cuales son esenciales para su desarrollo. En el caso de la soya:

- Sistema radicular.

- Eje (Hipocotílo, epicotílo, yema terminal).
- Cotiledones.

### **Plántulas normales**

Las plántulas normales muestran el potencial para continuar su desarrollo satisfactoriamente en una plántula, cuando crece en suelo de buena calidad y bajo condiciones favorables de humedad, temperatura y luz solar. Para ser clasificada como una plántula normal debe conformar una de las siguientes categorías:

- **Plántulas intactas:** plántulas con todas sus estructuras esenciales bien desarrolladas, completas, proporcionales y saludables.
- **Plántulas con leves defectos:** plántulas que muestran ciertos defectos leves en sus estructuras esenciales, siempre que muestre un desarrollo balanceado y satisfactorio, comparable con el de una plántula intacta de la misma prueba de germinación y emergencia.
- **Plántulas con infecciones secundarias:** plántulas que evidentemente conforman una de las dos categorías anteriores, pero hayan sido afectadas por hongos o bacterias procedentes de otras fuentes diferentes a la semilla que dio su origen.

### **Plántulas anormales**

Las plántulas anormales, claramente no muestran el potencial necesario para desarrollarse en una planta normal cuando crezca en suelos de buena calidad y bajo condiciones favorables de humedad, temperatura y luz solar. Las siguientes plántulas son clasificadas como anormales:

- **Plántulas dañadas:** plántulas con alguna de sus estructuras esenciales ausente o pobremente desarrollada e irreparablemente dañada, de la cual no se puede esperar un desarrollo balanceado.
- **Plántulas deformadas o desbalanceadas:** plántulas con un débil desarrollo, fisiológicamente disturbadas o con sus estructuras esenciales deformadas o en desproporción.
- **Plántulas deterioradas:** Plántulas con alguna de sus estructuras esenciales enfermas o deterioradas como resultado de una infección primaria que impide su normal desarrollo.

## 6.6 MANEJO DEL SUELO EN LAS AREAS DE ESTUDIO

Descripción de las áreas de investigación con base al Estudio de Caso Sobre el Manejo Convencional y Agroecológico del Cultivo de la Caña de Azúcar en el Valle del Cauca, Colombia (Molina *et al*, 2007).

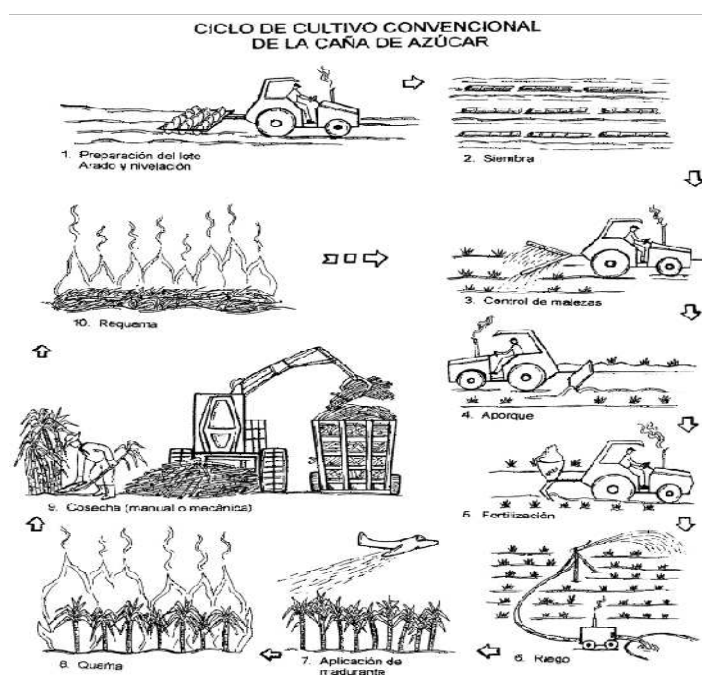
### 6.6.1 Manejo del suelo para el cultivo de caña de azúcar en el Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT- Palmira

En el CIAT se lleva a cabo un manejo convencional del suelo para el cultivo de la caña de azúcar. Entre las labores para el cultivo de la Caña de azúcar se encuentra: *labores del cultivo en socas*, que tienen como finalidad disminuir los efectos de la compactación del suelo, ocasionada especialmente por la maquinaria que se utiliza durante la cosecha, en donde los mayores problemas se tienen cuando la cosecha se realiza durante la época de lluvia.

Las prácticas de manejo incluyen: la quema y el encalle de residuos, subsuelo, cultivada, aporque, mantenimiento de acequias y resiembra. Los métodos

utilizados para el *control de malezas* son el manual, el mecánico (malezas resistentes al control químico) y el químico, además ayudan en el control de malezas las labores de mecanización realizadas durante los tres primeros meses.

En la *fertilización*, el nitrógeno es el elemento más limitante para la producción del cultivo de la caña de azúcar, en general se aplica urea como fuente de rápida asimilación y alternativamente se aplica cachaza y vinaza, cuando se desea recuperar el nivel de materia orgánica. En el *riego*, los requerimientos de agua en algunas variedades de caña para un ciclo de cultivo de 13 meses, oscila entre 1050 y 1300 mm, el agua freática de buena calidad puede suplir por capilaridad entre 40 y 60% de los requerimientos de agua en la caña (Torres, 1996). Los *sistemas de cosecha* con caña quemada han pasado del corte y alce manual al sistema semimecanizado (corte manual, alce mecánico) con algunas experiencias con cortadoras y combinadas trozadoras de caña.



**Figura 3.** Ciclo del cultivo convencional de la caña de azúcar.

**Fuente:** Estudio de Caso Sobre el Manejo Convencional y Agroecológico del Cultivo de la Caña de Azúcar en el Valle del Cauca, Colombia (Molina *et al*, 2007).



### **6.6.2 Manejo del suelo para el cultivo de caña de azúcar en la Reserva Natural EL HATICO-CERRITO**

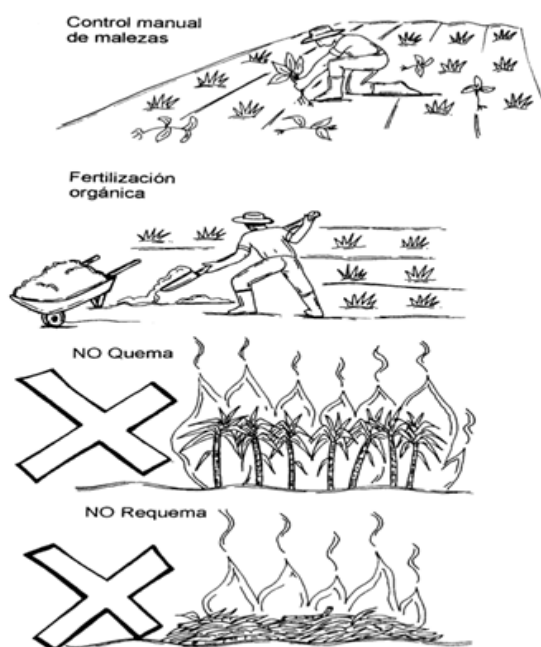
El control de malezas dentro del cultivo agroecológico, reemplaza productos químicos (herbicidas) con prácticas de manejo como el control manual, control mecánico y el uso del ovino de pelo, que produce excretas de buena calidad, no daña la infraestructura de riego y drenaje y no produce compactación del suelo, además aprovecha plantas asociadas al cultivo de la caña de azúcar. Adicionalmente, la cosecha de la caña en verde sin quema, permite que la biomasa que queda en el campo sirva de cobertura que disminuye la presencia de plantas asociadas al cultivo.

La escarificada, el aporque, la cultivada, la cincelada y la fertilizada se programan con el fin de controlar las especies asociadas arvenses. En la *fertilización*, la hojarasca y residuos vegetales que quedan en el campo cuando el cultivo de la caña no es sometido a la quema pre y post cosecha, constituyen en el suelo un aporte de biomasa que se convierte en una reserva orgánica y de minerales que hacen parte en la búsqueda de la producción sostenible del cultivo de la caña de azúcar, al promover el ciclo de nutrientes a través del reciclaje. *El Aporque* es una práctica que favorece las cepas del fondo del surco en donde se van a acomodar los residuos de cosecha y podrían presentarse algunos problemas de drenaje en época lluviosa, facilitando además el manejo del riego. La labor de subsolado (hasta 40 cm de profundidad) ayuda a airear el suelo y a mejorar la infiltración del agua, permitiendo a la planta desarrollar un mejor sistema radicular.

*La cosecha* de la caña en verde elimina las quemas y estimula la mecanización para realizar el corte de la caña, a pesar de que presenta dificultades de cosecha en épocas de lluvia. Realizar la cosecha de este modo, trae muchos beneficios, como es el de disminuir la contaminación ambiental, mejorar la estructura de los suelos y su fertilidad, menores requerimientos tanto de agua como de herbicidas que se traducirían en mayores rendimientos de azúcar.

El *manejo de residuos de cosecha* se maneja con el sistema de encalle al 2x1, el cual es uno de los más indicados, junto con el de picado de los residuos.

Es muy importante resaltar que con la cosecha de la caña en verde se puede obtener un 10% de rendimiento de azúcar adicional al que se obtiene cuando se quema la caña antes de su cosecha, situación que beneficia al productor y la industria. Además se tiene que los mayores ingresos que se obtienen por este incremento en el azúcar, compensan significativamente el costo adicional por mano de obra al cosechar la caña en verde (Molina *et al*, 2007).



**Figura 4.** Labores de manejo del cultivo agroecológico de la caña de azúcar en la Reserva Natural El Hatico.

**Fuente:** Estudio de Caso Sobre el Manejo Convencional y Agroecológico del Cultivo de la Caña de Azúcar en el Valle del Cauca, Colombia (Molina *et al*, 2007).

### **6.6.3 Bosque natural**

El Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT y la Reserva Natural El Hatigo cuentan con bosques naturales que han permanecido inalterados tanto en su vegetación como sus suelos, por esta razón, estos sitios se usarán como áreas testigo que servirán para comparar los efectos de los sistemas de producción tradicional y alternativo de los suelos Vertic Haplustoll y Typic Haplustoll del Valle del Cauca. El suelo que se usará como testigo en el HATICO corresponde a un Pachic Haplustoll dado que tiene características edáficas similares al Typic Haplustoll (Ipaz, 2011).

## **6.7 DESCRIPCION DE LOS SUELOS EN LAS ZONAS DE ESTUDIO**

En la región del Valle del Cauca predominan los suelos del orden Molisol (36% del área), seguidos por los órdenes Inceptisol (26%), Vertisol (21%), Entisol (10%) y Alfisol (5%) (Quintero & Castilla, 1992). En la región predominan los suelos con pH en el rango neutro, con contenido medio de materia orgánica, con una fracción de arena compuesta por feldespato, anfíboles y cuarzo y de arcilla por esmécticas y caolinita.

Los características de los suelos que se tendrán en cuenta en este estudio se describen en el Estudio Detallado de Suelos y Capacidad de Uso de las Tierras sembradas con caña de azúcar localizadas en el Valle geográfico del río Cauca del (IGAC & CENICAÑA, 2004). Los mapas de suelos de la investigación en el CIAT y la Reserva natural El Hatigo con sus respectivas características se muestran en el Anexo 3. A continuación se describen algunas características.

### 6.7.1 Suelos de orden Molisol

Estos suelos se forman principalmente bajo cultivos de pastos o praderas y en condiciones climáticas que pueden presentar un moderado o pronunciado déficit de humedad temporal. Entre las principales propiedades de los Molisoles se mencionan las siguientes: presencia de un epipedón mólico de estructura granular, alto contenido de materia orgánica, colores oscuros, alta saturación en bases y muy buena provisión de nutrientes (Quintero & Castilla, 1992).

#### **Suelos JORDÁN. Typic Haplustolls, familia francosa fina, mezclada, activa, isohipertérmica.**

Los suelos de esta consociación presentan una secuencia de horizontes A-B-C. Los resultados de los análisis químicos indican que son suelos de reacción ligera a moderadamente alcalina. La capacidad catiónica de cambio en el horizonte superficial es alta y media en los subsuperficiales. El calcio y el magnesio son altos. Según los resultados de las determinaciones físicas, presentan retención de humedad media, densidad real baja a media, densidad aparente media a alta, alta porosidad total con predominio de la microporosidad. El índice de plasticidad es alto en el primer horizonte. La permeabilidad es moderada. Los suelos de la consociación Jordán presentan diferentes fases, pero a continuación se discuten las que fueron usadas para llevar a cabo las determinaciones:

**CIAT: JR6In. Consociación Jordán.** Fase media, profunda, pendientes 0–1%. Esta fase presenta en la capa arable o en los primeros 25 cm superficiales texturas medias: francas o franco limosas, colores oscuros, estructura en bloques subangulares medios y finos, moderados. La consistencia es friable.

**HATICO: JR7In. Consociación Jordán.** Se diferencia de la anterior por presentar en la capa arable o en los primeros 25 cm superficiales texturas franco arcillo

limosas o franco arcillosas. Los suelos son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas.

### **6.7.2 Suelos de orden molisol con características verticas**

**Suelos PALMERAS. Vertic Haplustolls, familia francosa fina, mezclada, superactiva, isohipertérmica.**

Estos suelos tienen una secuencia de horizontes A-B-C. Químicamente tienen reacción que varía de neutra a moderadamente alcalina (pH 6.7 a 8.3), media a alta capacidad de intercambio catiónico, moderados a altos contenidos de bases totales y alta saturación de bases; la relación calcio/magnesio en general es normal; la relación calcio más magnesio sobre potasio, es normal. La fertilidad natural es alta. Los resultados de los análisis físicos indican baja a media densidad real (2,37 a 2,68 g.cm<sup>3</sup>) y Da, media a alta (1.36 a 1.57 g.cm<sup>3</sup>); la porosidad total es media, con predominio de los micróporos en más del 50%; retención de humedad aprovechable media a alta, índice de plasticidad alto, (valores entre 21 y 30) y permeabilidad moderadamente lenta. Presentan características como grietas, superficies de presión, y estructura en forma de cuña, mineralogía mezclada y alta actividad catiónica de la arcilla. Los limitantes de estos suelos son principalmente de índole físico, como la baja macroporosidad, la moderada a lenta permeabilidad y las características vérticas en los horizontes superficiales; estas limitaciones provocan baja capacidad de aireación y dificultad para el laboreo. Requieren de prácticas de manejo relacionadas con el riego y la fertilización. Presentan también diferentes fases, pero a continuación se discute la fase utilizada:

**HATICO: PM8In. *Consociación Palmeras*.** Fase fina, profunda, pendiente 0-1%. Los suelos de esta fase tienen en su capa arable una textura arcillosa o arcillo limosa, profundidad radical mayor a 100 cm y relieve plano.

**Suelos RICAURTE. *Vertic Haplustolls, limosa fina, mezclada, superactiva, isohipertérmica*.**

Estos suelos son de mediana evolución, originados de sedimentos aluviales medios, con propiedades vérticas en algunos horizontes; muy profundos, bien drenados, alta saturación de bases, reacción ligera a medianamente alcalina y de fertilidad natural alta. Presenta una secuencia de horizontes A-B. Químicamente tienen reacción que varía de ligera a moderadamente alcalina (pH: 7.5 a 8.1), alta capacidad de intercambio catiónico, moderados contenidos de bases totales y alta saturación de bases; relación calcio/magnesio estrecha en todo el perfil; y la fertilidad natural es muy alta. Las propiedades físicas muestran suelos de texturas medias, densidad real (2,60- 2,52 g.cm<sup>3</sup>) y aparente (1.39 -1.41 g.cm<sup>3</sup>) medianas, porosidad total alta, con 30% de micróporos (moderada) y 5% de macroporos (baja); retención de humedad aprovechable alta, índice de plasticidad alto y permeabilidad lenta. Los suelos de la Consociación Ricaurte, presenta la siguiente fase:

**CIAT: RT7In. *Consociación Ricaurte*,** fase moderadamente fina, profunda y pendiente 0-1%. La textura de la capa arable son franco arcillosa o franco arcillo arenosa o franco arcillo limosas, profundidad efectiva profunda, en relieve plano.

### 6.7.3 Suelo testigo en la hacienda EL HATICO

**Suelos PALMIRA. Pachic Haplustolls, familia francosa fina, mezclada, activa, isohipertermica.**

Estos suelos son suelos formados de sedimentos aluviales medios, bien drenados. Con horizonte Además de 50 cm de espesor, profundos, sin limitaciones para la profundidad radicular y de fertilidad alta. Presentan la secuencia e horizontes Ap-A-Bw1-Bw2.mQuímicamente son suelos saturados, de reacción neutra a ligeramente alcalina (pH 6.7-8.0) hasta los 60 cm y aumenta en profundidad de moderada a fuertemente alcalina (pH 8.1-8.7); tienen capacidad de intercambio catiónico alta en la capa arable y media en profundidad, las bases totales son medias. Los resultados de los análisis físicos, muestran que la densidad real es baja y la densidad alta, debido a la compactación de los suelos; la permeabilidad varía de lenta a moderadamente lenta en profundidad y la retención de humedad es alta. En general estos suelos no tienen limitaciones de manejo, se debe mantener la fertilidad y en las aplicaciones de riego se deben tener en cuenta las características de permeabilidad, el balance hídrico y el estado de crecimiento del cultivo. Los suelos de la consociación Palmira, presenta la siguiente fase, la cual se utilizó como suelo testigo en la hacienda El Hatico.

**HATICO: PL7In. Consociación Palmira.** Fase moderadamente fina, profunda, pendientes 0-1 %. Esta unidad en la capa arable tienen texturas franco arcillosa, franco arcillo limosa o franco arcillo arenosas.

#### 6.7.4 Suelo testigo en la hacienda CIAT

**Suelos CANTARINA. Pachic Vertic Haplustolls, familia fina, esmectítica, isohipertérmica.**

Los suelos Cantarina presentan las secuencias de horizontes A-B-C o A-AB-B-C. Presentan alta capacidad catiónica de cambio, dominada por calcio y magnesio. La relación calcio/magnesio es en general normal hasta los 50 cm y en el resto del perfil es estrecha; las bases totales al igual que la saturación de bases son altas. La reacción está entre neutra y moderadamente alcalina con pH de 6.8 a 8.5 y la fertilidad natural es muy alta a alta. Los resultados de los análisis físicos indican que en la unidad Cantarina los suelos son de texturas finas. La densidad real es baja a media con valores entre 2.35 y 2.59 g.cm<sup>3</sup>, y la densidad aparente media (1.33 a 1.41 g.cm<sup>3</sup>), los valores de porosidad total fluctúan entre 43.40 y 47.2% siendo medios a altos, dominada por los micróporos. La permeabilidad y la infiltración son bajas.

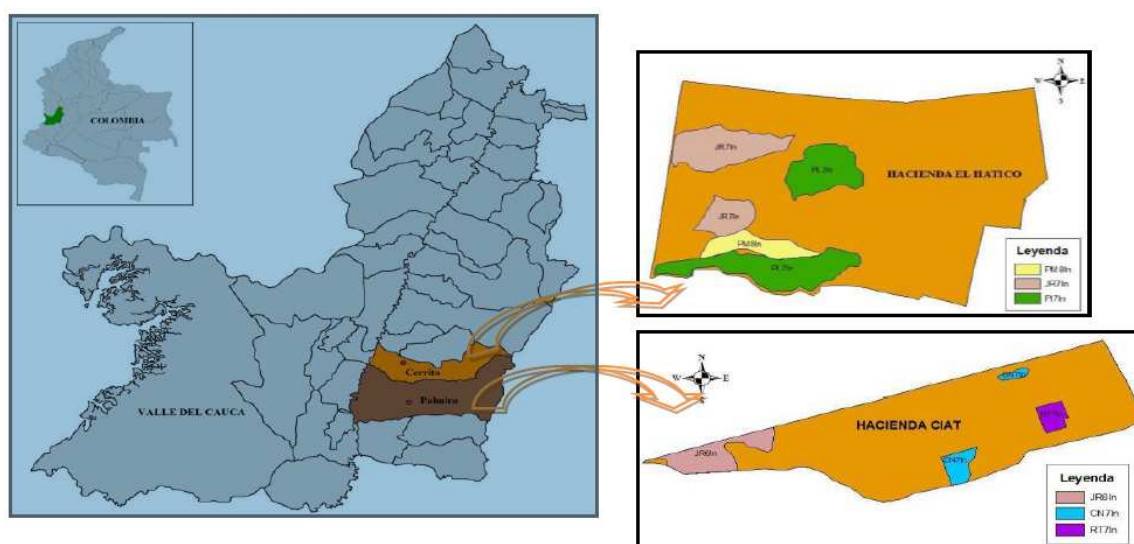
**CIAT: CN7In. Consociación Cantarina**, moderadamente fina, profunda y pendiente 0-1%. La unidad presenta texturas franco arcillosas, franco arcillo limosas o franco arcillo arenosas en la capa arable. La profundidad efectiva es profunda y el relieve es plano.



## 7 MATERIALES Y METODOS

### 7.1 LOCALIZACION

Este trabajo fue realizado en dos regiones geográficas del Valle del Cauca (Figura 6), la primera zona de estudio se ubico en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el cual se encuentra en el municipio de Palmira, situado a 3°30' Norte y a 76°21' Oeste, localizado en la región sur del departamento del Valle del Cauca, a 28 km de Cali. La segunda zona de estudio se llevo a cabo en la Reserva Natural El Hatico en el municipio de El Cerrito a 3°27' de latitud norte y 76°32' de longitud oeste. Ambas localidades se encuentran ubicadas en la parte plana del valle geográfico del río Cauca, a una altura de 1000 msnm, cuya precipitación promedio es de 750 mm, distribuida en forma bimodal (marzo a mayo y octubre a Noviembre); la humedad relativa es del 75%; la temperatura promedio de 24°C; y la evaporación media de 1825 mm por año, correspondiendo a la clasificación de Bosque Seco Tropical (Molina *et al.*, 2009).



**Figura 5.** Ubicación de zonas de estudio (CIAT y El Hatico).

La selección de los escenarios de estudio se realizó considerando que son áreas con una amplia información relacionada con el manejo y tratamiento del suelo, así mismo cuentan con estudios actualizados de sus características químicas, físicas y biológicas.

El ensayo de germinación y emergencia se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de mecánica de fluidos, hidráulica y riego, en la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

## **7.2 TECNICA DE MUESTREO**

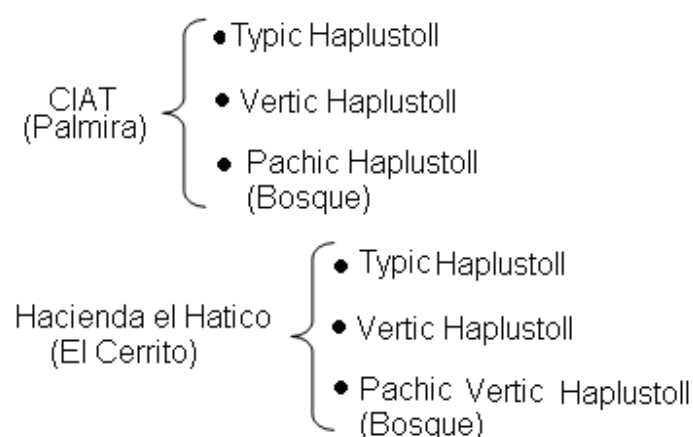
El muestreo de los suelos se realizó teniendo en cuenta la similaridad en la mineralogía, seleccionando los suelos clasificados previamente como Typic Haplustolls y Vertic Haplustolls tanto en CIAT, como en El Hatico. En el caso del bosque (suelo testigo), se seleccionó un suelo Pachic Haplustolls, dado que tiene características edáficas similares al suelo Typic y Vertic Haplustolls, diferenciándose únicamente por presentar un perfil más uniforme en su profundidad. La selección se realizó según el estudio detallado de suelos Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC & CENICAÑA, 2004).

Las muestras de suelos tomadas en campo con ayuda de una pala, se colectaron por triplicado de los primeros 10 cm superficiales del perfil (Anexo 3, 4, 5 y 6), se empacaron en bolsas y se disgregaron húmedas (sin romper agregados), luego se secaron al aire, y finalmente, para obtener las muestras usadas en las simulaciones de lluvia, se tamizó el suelo, como se explica en la sección Simulación de lluvia. Inicialmente se hubiera podido tomar muestras de un mismo tipo de suelo presente tanto en el CIAT como en el HATICO, pero se corría el riesgo de que alguno de los suelos fuera especialmente más susceptible al sellamiento y encostramiento por sus características taxonómicas. Por esta razón

se eligió dos tipos de suelo presentes en ambos lugares, así como un bosque en cada sitio como testigo que permitió comparar los efectos de los sistemas de producción actuales en el Valle del Cauca para el cultivo de caña.

### 7.3 SUSTRATOS DE GERMINACIÓN

Como sustratos se usaron los suelos anteriormente descritos (sección 6.6) pertenecientes al CIAT Palmira (manejo tradicional) y Hacienda el Hatico El Cerrito (manejo alternativo). De cada parte se tomaron muestras de suelo bajo cero manejos (Bosque), que fueron usadas como testigo (Figura 7).



**Figura 6.** Ordenes de suelos utilizados como sustratos, clasificados por sitio de muestreo.

#### 7.4 PREPARACION DE LA BANDEJAS CON SUELO

Los suelos usados como sustrato previamente tamizados con una medida de 2mm, fueron confinados en bandejas de germinación de material icopor DARNEL ref# 1 (Figura 8). Dichas bandejas de germinación fueron dispuestas de acuerdo a la dosis de aplicación de sustancias húmicas, sitio y tipo de suelo.



**Figura 7.** Confinamiento de las muestras de suelo.

##### 7.4.1 Sustancias húmicas (álcali orgánico) como acondicionador físico del suelo

Con el fin de inducir diferentes efectos dispersivos en los suelos, se evaluó la influencia de las diferentes dosis de aplicación de álcali orgánico (acondicionador orgánico de suelos) sobre la resistencia a la ruptura e indirectamente sobre el porcentaje de emergencia y el índice de velocidad de emergencia.

El álcali orgánico utilizado es el HUMI SOIL, el cual es un acondicionador orgánico de suelos, producto a base de Ácidos Húmicos procedentes de Leonarditas, totalmente soluble en agua de riego. Ejerce una acción favorable sobre suelos y plantas, mejorando las características físico – químicas del suelo y la disponibilidad de nutrientes. Se puede aplicar a través del agua de riego, en inyección y por su contenido de ácidos fúlvicos no se descarta la aplicación foliar (Anexo 11).

Se escogió este producto debido a que los ácidos húmicos, en cantidades elevadas, dificultan el hinchamiento de las partículas del suelo, evitando la disgregación, aumentando la cohesión de las partículas y manteniendo estable la estructura de los agregados superficiales del suelo (Moliné, 1995, citado por Lopes 1998). Esta tiene la capacidad de aumentar el grado de agregación de las partículas finas de la capa superficial, aumentando su estabilidad, y disminuyendo la susceptibilidad a la formación de sellamiento y encostramiento de los suelos, trayendo como consecuencia una mejora en las propiedades hidrológicas de los suelos.

Las dosis que se utilizaron para el estudio fueron de 0, 50, 100 y 150 litros por hectárea (l/ha), con el fin de determinar la mejor dosis óptima de aplicación, mediante los valores más bajos de resistencia a la ruptura y más altos en términos de porcentaje de emergencia e índice de velocidad de emergencia, la repeticiones se manejaron por triplicado.

#### **7.4.2 Aplicación de lluvia simulada**

La formación de la costra se indujo mediante aplicación de gotas con un simulador de lluvia a una intensidad de 120mm/h, durante quince minutos, se dieron tres días para que ocurriera un secamiento parcial de los suelos antes de la siembra. Posteriormente a la siembra de las semillas de soya, se aplicó una intensidad de

lluvia de 150mm/h, durante seis minutos, con el objetivo de disipar las alteraciones a la formación de la costra, debidas a la siembra.

- **Simulador de lluvia**

El equipo usado para realizar las simulaciones de lluvia en este trabajo de investigación, es similar al diseñado por I. Pla Sentís, de la Universidad de Lérida, España (Cobo, 1998) (Anexo 10). El simulador consta básicamente de un depósito de agua sobre una superficie plana que soporta microtubos que forman gotas de un mismo tamaño (2.3 o 3.4 mm). El soporte para las muestras de suelo se mantuvo en constante movimiento por medio de un motor, con el objetivo de que las gotas de lluvia simulada no golpearan el mismo sitio durante el ensayo; adicionalmente se le instaló una barrera para evitar la pérdida de suelo por salpicadura.



**Figura 8.** Simulador de lluvia y muestras bajo lluvia simulada.

## 7.5 CARACTERIZACION DE LAS MUESTRAS DE SUELO

La nomenclatura que se usó para el manejo de las muestras de suelo fue la siguiente:

### **Sitio + Suelo + Numero de repetición**

**Dosis.** 0 l/ha (T1), 50 l/ha (T2), 100 l/ha (T3), 150 l/ha (T4).

**Sitio.** El Hatico (H), CIAT (C): representando (H) el manejo agroecológico de El Hatico y (C) el manejo tradicional del CIAT.

**Suelo.** Typic Haplustolls (T), Vertic Haplustolls (V), Bosque (B) suelos VerticHaplustolls usados como testigo.

**Numero de repetición.** 1, 2 y 3

Siendo por ejemplo:

**T1CT1:** Dosis 0 l/ha + CIAT + Typic Haplustolls + Repetición 1

**T3HV3:** Dosis 100 l/ha + Hatico + Vertic Haplustolls + Repetición 3

**T4CB2:** Dosis 150 l/ha + CIAT + Vertic Haplustolls(Bosque testigo) + Repetición 2

### 7.5.1 Caracterización química

La caracterización química se evaluó utilizando la metodología planteada por el IGAC (1990). De esta forma se determinó: pH, %MO (contenido de materia orgánica); al igual que Al, Ca, P, Mg, K, Na, CE (conductividad eléctrica) y CIC (Capacidad de intercambio catiónico).

### 7.5.2 Caracterización física

- **Textura del suelo**

La textura se determinó antes de realizar el ensayo de germinación y emergencia de plántulas, por medio de la metodología de la pipeta (IGAC, 1990).

- **Resistencia a la ruptura del suelo**

Se determinó para cada una de las bandejas en el primer y último conteo de plántulas, correspondientes al quinto y décimo día respectivamente, usando un penetrómetro de bolsillo, este con una precisión de 0.25 Kg/cm<sup>2</sup>, adicionalmente se correlacionó con el contenido de humedad determinado al mismo tiempo, usando el método gravimétrico.

- **Espesor de la costra y espesor de capa disgregada**

El espesor de las costras y la capa disgregada formadas en los suelos se determinó usando un calibrador o pie de rey, posteriormente al ensayo de germinación y emergencia de plántulas.

## 7.6 ENSAYO DE GERMINACION Y EMERGENCIA DE PLANTULAS

### 7.6.1 Semillas

Para este estudio se utilizaron semillas de soya (*Glycine max*) variedad “cimarrona”, proporcionadas por ICA Palmira; previamente seleccionadas, pertenecientes a lotes de semillas con alto poder germinativo y vigor.



### 7.6.2 Siembra

Nueve (9) semillas de soya fueron sometidas a una profundidad de siembra de 1.5cm, igual número de semillas fueron sometidas a la profundidad de 4cm; la distancia de siembra fue de 4.5cm para ambas profundidades, para un total (18) diez y ocho semillas por bandeja.

### 7.6.3 Porcentaje de emergencia (%E) e índice de velocidad de emergencia (IVE)

Este ensayo se realizó con la finalidad de determinar el porcentaje de emergencia y el índice de velocidad de emergencia en semillas de soya, bajo efectos del encostramiento de los suelos.

El porcentaje de emergencia se expresa como la proporción de semillas que fueron capaces de producir plántulas normales. Se realizaron conteos diarios de plántulas normales a partir del quinto día posterior a la siembra (ISTA, 2005), hasta el décimo día para obtener el porcentaje de emergencia bajo efectos del encostramiento.

La determinación del índice de velocidad de emergencia, que es una medida del vigor, se realizó conjuntamente con el ensayo de germinación. Diariamente se llevó a cabo el conteo de plántulas normales y se retiraron de las bandejas para prevenir interferencias en el normal desarrollo de las demás plántulas que no alcancen el nivel de desarrollo necesario para el conteo.

El (IVE) índice de velocidad de emergencia se determinó de la siguiente forma:

$$I.V.E = \frac{N^{\circ} \text{ Plantulas Normales lectura } 1}{N^{\circ} \text{ de días desde siembra}} + \dots + \frac{N^{\circ} \text{ Plantulas Normales lectura final}}{N^{\circ} \text{ de días desde siembra}}$$

**Ecuación 1.** Índice de velocidad de emergencia.

## 7.7 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el análisis de la información obtenida se adoptó un arreglo factorial de  $2 \times 3 \times 4 \times 2$ , el cual corresponde a:

**Tabla 1.** Arreglo factorial para el análisis de la información.

FACTOR	NIVELES
Tipo de suelo	Typic Haplustolls
	Vertic Haplustolls
Manejo	Tradicional (CIAT)
	Alternativo (El Hatico)
	Bosque (CIAT y El Hatico)
Dosis de aplicación de sustancias húmicas ( $\text{l} \cdot \text{ha}^{-1}$ )	0
	50
	100
	150
Profundidad de siembra (cm)	1.5
	4
3 Repeticiones	
48 Tratamientos	
144 muestras	

Con el arreglo factorial y con tres (3) repeticiones se obtuvieron un total de (48) tratamientos con las cuales se pudieron someter las semillas a diversas condiciones para la emergencia.

## 7.8 ANALISIS DE DATOS

Los datos obtenidos del ensayo de germinación y emergencia, tanto como los obtenidos de las muestras de suelo se calcularon y analizaron mediante el uso de los programas Excel y SPSS (ANOVA y test de Duncan) de acuerdo a los siguientes pasos:

- En Excel se calcularon las variables Porcentaje de emergencia (%E) e índice de velocidad de emergencia (IVE).
- En SPSS se analizaron los factores que intervienen en la prueba de emergencia como lo son suelo, manejo, Dosis de aplicación de sustancias húmicas y profundidad de siembra, bajo un Modelo Factorial con Arreglo de Bloques Completos Aleatorizados. Los datos fueron normalizados con la finalidad de homogenizar la información y que esta quede comparable. Los que presentaron una significancia ( $p \leq 0.05$ ) indicando que las variables independientes manejo (M), profundidad de siembra (PS) y Dosis de aplicación de sustancias húmicas (Dosis) tienen un impacto real sobre las varias dependientes Porcentaje de emergencia (%E) y índice de velocidad de emergencia (IVE).

## 8 RESULTADOS Y DISCUSION

### 8.1 CARACTERIZACION FISICA

- **Textura:**

**Tabla 2.** Resumen de textura inicial de los suelos.

Bandeja	Textura				Arena Fina
	%Ar	%L	%A	Textura	
HV	22.7	46.4	30.9	F	12.60
HT	24.8	50.5	24.7	FL	13.90
HB	27.1	45.3	27.5	F	18.50
CV	26.9	48.3	24.8	F	14.50
CT	32.0	54.9	13.2	FAr	9.40
CB	18.1	49.9	32.0	FL	14.15
Tradicional	29.4	51.6	19.0	FArL	12.00
Alternativo	23.7	48.4	27.8	F	13.30
Bosque	22.6	47.6	29.8	F	16.30
Typic	28.0	50.2	21.8	Far	13.80
Vertic	22.6	48.2	29.2	F	14.00
Sin bosque					
Typic	28.4	52.7	18.9	FArL	13.80
Vertic	24.8	47.4	27.9	F	12.10
% Ar: porcentaje de Arcilla, % L: porcentaje de Limo, % A: porcentaje de Arena, Trad: manejo Tradicional, Alt: manejo Alternativo, Bos: Bosque, Typic: Typic Haplustolls, Vertic: Vertic Haplustolls.					

Los suelos oscilaron entre Franco y Franco Arcillo Limosos, con contenido de limo oscilando entre 40 y 60%, lo que los hace susceptibles al encostramiento y erosión hídrica en caso de quedar expuestos a la intemperie (Wishmeier y Smith, 1978), ya que los limos carecen de propiedades coloidales formadoras de estructura, dispersándose con facilidad en presencia de agua (Bradfiel y Jamison, 1939).

De acuerdo a las características del suelo, los de manejo tradicional (MT) presentan el mayor contenido de limo (51,6%) y arcilla (29,4%), seguido del manejo Alternativo (MA) (48,4% L y 23,7% Ar) y el menor contenido se presento bajo manejo Bosque (MB) (47.6 y 22.6% Ar) (Anexo 7).

Al analizar los dos tipos de suelo, los Typic presentaron los valores más altos en los contenidos de limo (50,2%), arcilla (28.0%) y arena fina (13.8%) respecto a los Vertic. Con Arena sucedió lo contrario (Tabla 5.2). En cuanto a Limo, el Typic MT (54.9%) fue el más limoso, seguido por MA (50.5%), mientras que en Vertic MB (49.9%) tuvo el mayor contenido seguido por MT (48.3%). De los dos suelos, los mayores contenidos se hallaron en Typic (Tabla 2A).

Dentro de cada suelo, en Typic, bajo MB se distinguió por su contenido de Arena y MT por los contenidos de Arcillas y Limos; por el contrario, en Vertic, MB se distinguió por los mayores contenidos de Limo y Arena, y MT por los mayores contenidos de Arcilla (Tabla 2B).

**Tabla 2A.** Caracterización física inicial para Typic Haplustoll y Vertic Haplustoll bajo diferentes manejos.

Suelo	Arcilla		Limo		Arena	
	Typic	Vertic	Typic	Vertic	Typic	Vertic
Manejo						
Bosque	27.1	18.1	45.3	49.9	27.5	32
Alternativo	24.8	22.7	50.5	46.4	24.7	30.9
Tradicional	32	26.9	54.9	48.3	13.2	24.8

**Tabla 2B.** Comparación de los suelos para cada manejo en función de las propiedades físicas.

Suelo	Typic Haplustolls			Vertic Haplustolls		
Manejo	Bosque	Alternativo	Tradicional	Bosque	Alternativo	Tradicional
Arcilla	27.1	24.8	32	18.1	22.7	26.9
Limo	45.3	50.5	54.9	49.9	46.4	48.3
Arena	27.5	24.7	13.2	32	30.9	24.8
Ar: porcentaje de Arcilla, L: porcentaje de Limo, A: porcentaje de Arena.						

• **Resistencia a la Ruptura y Humedad del suelo:**

**Tabla 3.** Resistencia a la ruptura en el primer y último día de conteo desde siembra.

Dosis	0	50	100	150
	R5	R5	R5	R5
Bandeja	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )
HV	1.11	1.36	1.97	2.56
HT	1.00	1.17	2.00	2.17
HB	0.55	0.75	0.97	1.08
CV	2.36	2.72	3.84	3.28
CT	2.08	2.72	3.03	2.17
CB	0.58	0.00	0.89	0.64

Dosis	0	50	100	150
	R10	R10	R10	R10
Bandeja	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )
HV	2.97	2.92	3.30	3.33
HT	2.89	2.67	3.80	2.75
HB	1.53	1.55	2.08	1.69
CV	3.67	3.78	4.00	4.17
CT	3.25	3.78	4.03	4.11
CB	0.92	0.00	0.92	0.95

Trad	2.22	2.72	3.43	2.72
Alt	1.06	1.27	1.99	2.36
Bos	0.57	0.38	0.93	0.86

Trad	3.46	3.78	4.01	4.14
Alt	2.93	2.79	3.55	3.04
Bos	1.22	0.78	1.50	1.32

Typic	1.21	1.55	2.00	1.81
Vertic	1.35	1.36	2.23	2.16

Typic	2.55	2.67	3.30	2.85
Vertic	2.52	2.23	2.74	2.82

Sin Bosque				
Typic	1.54	1.95	2.51	2.17
Vertic	1.74	2.04	2.91	2.92

Sin Bosque				
Typic	3.07	3.22	3.92	3.43
Vertic	3.32	3.35	3.65	3.75

R5: Resistencia a la ruptura en el día 5

R10: Resistencia a la ruptura en el día 10

**Tabla 4.** Humedad del suelo en el primer y último día de conteo desde siembra.

Dosis	0	50	100	150
	H5	H5	H5	H5
Bandeja	(%)	(%)	(%)	(%)
HV	3.99	10.14	6.56	6.70
HT	9.56	12.17	8.89	7.76
HB	7.55	13.16	13.22	8.23
CV	5.20	6.86	6.92	7.60
CT	7.36	8.62	9.74	10.15
CB	6.74	9.71	11.87	10.32

Dosis	0	50	100	150
	H10	H10	H10	H10
Bandeja	(%)	(%)	(%)	(%)
HV	2.63	3.03	4.23	2.88
HT	4.42	4.35	5.03	4.06
HB	3.71	4.71	5.05	4.13
CV	3.67	3.79	4.00	3.77
CT	4.87	4.24	5.47	5.44
CB	2.86	3.21	3.44	3.84

Trad	6.28	7.74	8.33	8.87
Alt	6.78	11.15	7.72	7.23

Trad	4.27	4.01	4.74	4.61
Alt	3.53	3.69	4.63	3.47

<b>Bos</b>	7.15	11.43	12.55	9.28
<b>Typic</b>	8.16	11.31	10.62	8.71
<b>Vertic</b>	5.31	8.90	8.45	8.20
<b>Sin Bosque</b>				
<b>Typic</b>	8.46	10.39	9.31	8.95
<b>Vertic</b>	4.60	8.50	6.74	7.15
H5: Humedad del suelo día 5				

<b>Bos</b>	3.29	3.96	4.25	3.99
<b>Typic</b>	4.34	4.43	5.18	4.54
<b>Vertic</b>	3.05	3.34	3.89	3.50
<b>Sin Bosque</b>				
<b>Typic</b>	4.65	4.29	5.25	4.75
<b>Vertic</b>	3.15	3.41	4.12	3.33
H10: Humedad del suelo día 10				

Como se puede apreciar en la Tabla 3, para las dosis de aplicación de sustancias húmicas de 0 y 50 l/ha, las resistencias a la ruptura son menores en comparación con las demás dosis para todas las bandejas, en el quinto y decimo día respectivamente. También se puede observar que para todas las dosis la resistencia es mayor en las bandejas con suelos pertenecientes al manejo tradicional que en comparación con el manejo alternativo y bosque. El suelo sometido a manejo bosque se destaca por presentar resistencias menores a  $1.5\text{Kg/cm}^2$ . Este comportamiento se debe a que los suelos sometidos al manejo tradicional poseen un contenido de materia orgánica mas bajo en comparación con los suelos sometidos a manejo alternativo, por lo tanto la aplicación de álcali orgánico no tiene actividad sobre los coloides para fortalecer la estructura de los suelos.

Las diferencias no son muy marcadas entre tipos de suelo (Typic Haplustolls y Vertic Haplustolls) en términos de la resistencia a la ruptura; hay una diferencia considerable entre el tipo de suelo si consideramos los tres manejos, que en comparación con el cálculo excluyendo el manejo bosque, las resistencias son mayores sin considerar el manejo bosque en un orden aproximado de  $0.5\text{Kg/cm}^2$ . El manejo bosque del suelo obtenido del CIAT y con dosis 50 l/ha no presentó formación de costra.

El contenido de humedad para el día quinto es claramente mayor en los suelos sometidos a manejo bosque y alternativo y dosis de álcali orgánico de 50 y 100

Kg/cm<sup>2</sup>, adicionalmente, se puede apreciar que los suelos Typic retienen mayor cantidad de agua que los suelos de características verticas, lo cual representa una condición más favorable para las plántulas emergentes.

- **Espesor y Capa Disgregada de la costra:**

**Tabla 5.** Espesor y Capa Disgregada de las costras formadas en los suelos.

Dosis	0	50	100	150
	Esp	Esp	Esp	Esp
Bandeja	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
HV	23.72	27.82	25.29	27.77
HT	24.87	28.55	28.99	29.39
HB	12.96	15.22	16.51	18.29
CV	24.78	29.59	27.31	27.96
CT	22.77	27.97	26.65	28.93
CB	11.41	0.00	11.71	14.08

Dosis	0	50	100	150
	CD	CD	CD	CD
Bandeja	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
HV	3.21	4.00	1.56	3.91
HT	3.09	3.70	1.97	3.87
HB	1.42	2.43	1.07	2.95
CV	1.77	3.76	2.38	3.74
CT	1.81	3.62	2.55	3.21
CB	1.03	0.00	1.20	1.98

Trad	23.77	28.78	26.98	28.45
Alt	24.30	28.18	27.14	28.58
Bos	12.19	7.61	14.11	16.19

Trad	1.79	3.69	2.46	3.48
Alt	3.15	3.85	1.77	3.89
Bos	1.23	1.22	1.13	2.47

Typic	20.20	23.91	24.05	25.54
Vertic	19.97	19.14	21.43	23.27

Typic	2.11	3.25	1.86	3.34
Vertic	2.00	2.59	1.71	3.21

Sin Bosque				
Typic	23.82	28.26	27.82	29.16
Vertic	24.25	28.71	26.30	27.87

Sin Bosque				
Typic	2.45	3.66	2.26	3.54
Vertic	2.49	3.88	1.97	3.82

Esp: Espesor de la costra

CD: Capa disgregada de la costra

El suelo obtenido del CIAT sometido al manejo bosque y con aplicación de 50 l/ha de álcali orgánico, no desarrolló costra, debido a que posee un alto contenido de materia orgánica esencial para desarrollar una fuerte estructura y también a que estos suelos se han mantenido al margen de los agresivos laboreos para la caña de azúcar. Los manejos tradicional (Trad) y alternativo (Alt) presentan valores similares de espesor de costra (Esp) y capa disgregada (CD) para todas las dosis; el manejo bosque (Bos) presenta valores menores de Esp y CD en el orden de la



mitad en comparación con el manejo Trad y Alt. Los valores de EspC y EspCD son similares para todas las dosis de álcali orgánico.

## 8.2 CARACTERIZACION QUIMICA

Según los resultados obtenidos los suelos son magnésicos (PMgl >40%) (Darab, 1994; citado por Torrente *et al*, 2003), lo que indica la disminución de las propiedades hídricas, y baja resistencia al impacto de las gotas de lluvia debido al deterioro de la estructura del suelo. Según Richards, 1954, todos los suelos presentan bajos valores de CE, RAS. Lo anterior unido a valores muy altos de MO, conforman muestras de suelo de alta fertilidad (Tabla 6). La CIC es de apreciación media en todos los suelos.

**Tabla 6.** Resumen de caracterización química inicial.

Bandeja	pH	MO	P Asim	Al	Ca	Mg	K	Na	CIC	C.E.	RAS	PSI	PMgl
	[1:1]	[%]	[ppm]	[me/100g]						[dS/m]		[%]	[%]
HV	7.4	5.8	104.7	ND	17.8	9.9	1.8	1.2	15.2	0.9	0.24	7.80	65.74
HT	7.8	5.5	112.7	ND	34.0	11.6	1.0	1.0	19.7	0.8	0.09	5.26	59.96
HB	7.0	5.1	53.7	ND	26.9	11.6	1.0	1.3	17.4	0.9	0.08	7.27	66.67
CV	7.8	3.2	112.7	ND	25.6	12.0	3.4	2.6	15.8	0.8	0.10	16.33	76.17
CT	7.7	5.1	112.3	ND	38.8	10.6	1.1	1.9	21.6	0.7	0.16	8.46	48.53
CB	6.9	7.2	171.0	ND	19.0	9.4	3.4	1.3	15.5	0.9	0.05	8.81	60.76
Tradicional	7.8	4.2	112.5	ND	32.2	11.3	2.2	2.2	18.7	0.8	0.13	12.39	62.35
Alterno	7.6	5.7	108.7	ND	25.9	10.8	1.4	1.1	17.5	0.9	0.16	6.53	62.85
Bosque	7.0	6.1	112.3	ND	23.0	10.5	2.2	1.3	16.5	0.9	0.07	8.04	63.72
Typic	7.5	5.2	92.9	ND	33.3	11.3	1.0	1.4	19.6	0.8	0.11	7.00	58.39
Vertic	7.4	5.4	129.4	ND	20.8	10.4	2.9	1.7	15.5	0.9	0.13	10.98	67.56
Sin Bosque													
Typic	7.7	5.3	112.5	ND	36.4	11.1	1.0	1.4	15.5	0.7	0.12	6.86	70.96
Vertic	7.6	4.5	108.7	ND	21.7	11.0	2.6	1.9	17.4	0.9	0.17	12.06	66.67
MO:Contenido de Materia Orgánica; P Asim: Fosforo Asimilable; CIC:Capacidad de Intercambio Cationico; CE:Conductividad Electrica; RAS:Relación de Adsorcón de Sodio; PSI:Porcentaje de Sodio Intercambiable; PMgl:Porcentaje de Magnesio Intercambiable													

**Contenido de Materia Orgánica.** Para un clima cálido se considera que un suelo tiene contenido alto de materia orgánica cuando alcanza valores superiores al 3% (ICA, 1992) (Anexo 8). Se tiene entonces que los suelos en estudio tienen porcentajes de MO altos, lo que disminuye el riesgo de formación de sellos y costras en suelos. Cuatro de las 18 muestras de suelo tuvieron contenidos de MO inferiores a 4.3%, representadas por los 48 Vertic Haplustoll bajo MT y un Typic Haplustoll bajo MB. El resto de las muestras presentaron MO entre 4.6 y 8.5%, considerado un rango muy favorable para mantener relativamente estable la estructura del suelo frente al efecto del agua, especialmente en los primeros centímetros (Fortun y Fortun, 1989; Alekseeva y Alekseev, 1999), además los valores altos de MO permiten contrarrestar los efectos del magnesio. Lo anterior significa que el manejo conveniente para estos suelos es conservacionista, pues exceptuando los que provienen de bosque, es difícil hallar otra explicación (Tabla 6).

La MO en los Typic Haplustoll fue mayor para el manejo Alternativo y menor e iguales en el manejo Tradicional y Bosque. En el caso de los Vertic Haplustoll, tuvo el comportamiento esperado, es decir, mayor para el MB, seguido del MA y el menor valor para el MT. Considerando los suelos sin el bosque, los Typic Haplustoll presentaron mayor MO que los Vertic (Tabla 6).

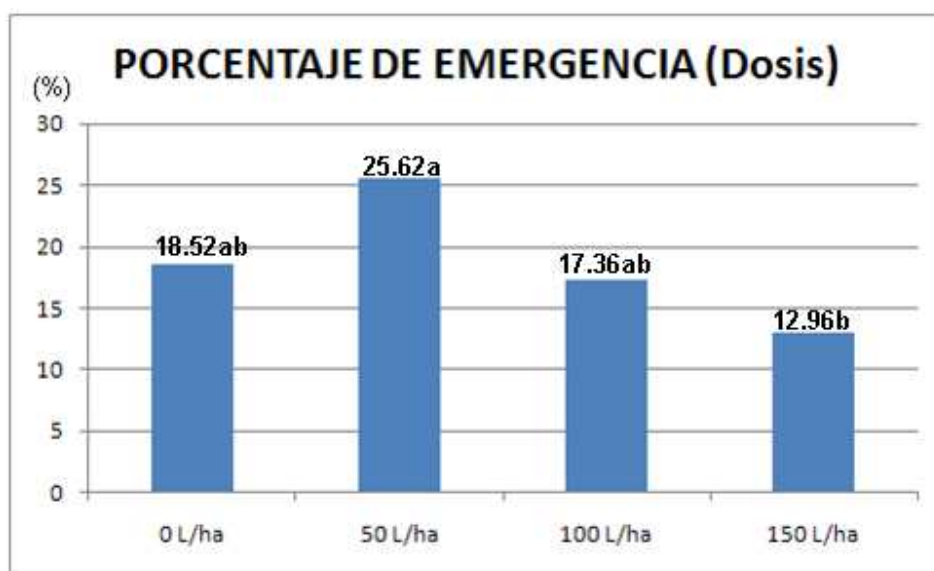
### 8.3 ANALISIS DE PARAMETROS DETERMINADOS

Por medio del software estadístico SPSS se realizó un análisis de varianza. En el ANEXO 1 y 2 se muestran las diferencias significativas encontradas.

A continuación se analiza cada una de las iteraciones significativas:

### 8.3.1 Análisis de factores fijos para porcentaje de emergencia

- Dosis



**Figura 9.** Porcentajes de emergencia según la dosis de aplicación de sustancias húmicas (Álcali Orgánico).

Partiendo de la hipótesis: Los mayores porcentajes de emergencia se presentarán para el tratamiento con mayor dosis de aplicación de sustancias húmicas. El porcentaje de emergencia presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para las dosis de aplicación de álcali orgánico; pese a esto la hipótesis no se cumple dado que el mayor porcentaje de emergencia (25,62 %) se presentó bajo la aplicación de 50 l/ha de álcali orgánico (Figura 10).

Henríquez *et al*, citado por Hoyos, 2011, encontraron que al aplicar acondicionadores orgánicos al suelo con dosis entre 500 y 2000 mg/l, la dosis con mejor respuesta fue la de 500 mg/l, lo que indica que la respuesta del suelo no es proporcional a la cantidad de acondicionador aplicado, sino que existe una dosis óptima para cada condición de suelo. En este caso y en términos de emergencia se puede decir que la mejor respuesta la ofrece la dosis de 50 l/ha. Así mismo,

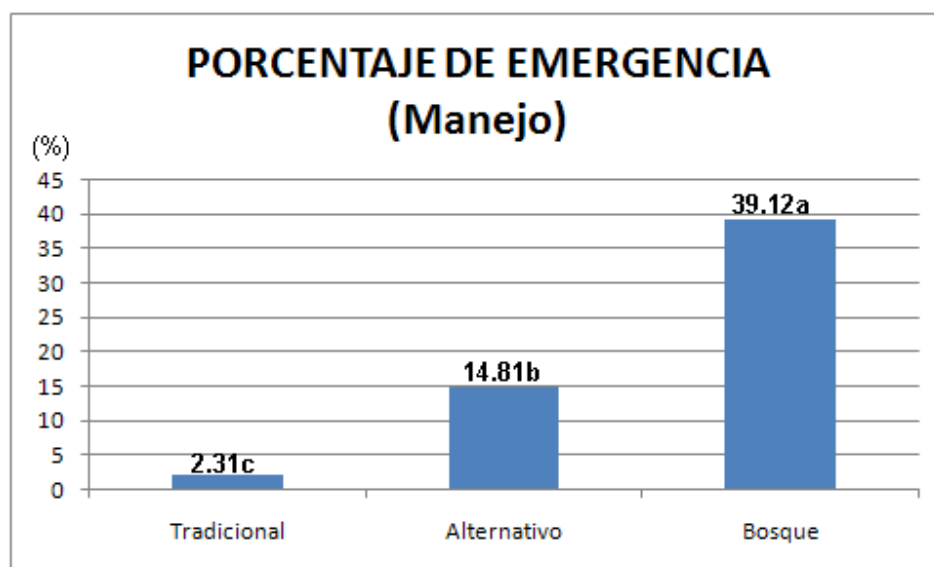
Ipaz (2011), trabajando con los mismos suelos estudiados determinó que la resistencia a la ruptura fue menor para la mayor dosis (50 l/ha) de álcali orgánico.

Un exceso de aplicación de álcali orgánico presenta una reacción desfavorable, debido a que la saturación de sustancias húmicas distancia las partículas de suelo impidiendo aumentar su cohesión entre si.

- **Manejo**

Partiendo de la hipótesis: El porcentaje de emergencia será menor en los suelos bajo manejo tradicional, independientemente del subgrupo (Typic Haplustoll o Vertic Haplustoll). La hipótesis se cumplió para todos los tratamientos.

El porcentaje de emergencia presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para el manejo del suelo. Según la Figura 11, el manejo tradicional (MT) tuvo un porcentaje de emergencia de 2.31%, muy por encima está el MA con 14.81% y por ultimo y casi 17 veces mayor que el MT está el MB con 39,12%. Ruiz (1999) indica que un factor que afecta la pérdida de la estructura, es el uso intensivo de implementos de labranza, característico en el manejo tradicional de los cultivos, que por medio del fraccionamiento de los agregados debilita la estructura del suelo, influyendo negativamente en otras propiedades del suelo. Ipaz (2012) indica que los suelos bajo bosque y manejo alternativo permiten mantener buenas condiciones estructurales del suelo, lo que se refleja en la habilidad del suelo para facilitar la emergencia de plántulas.



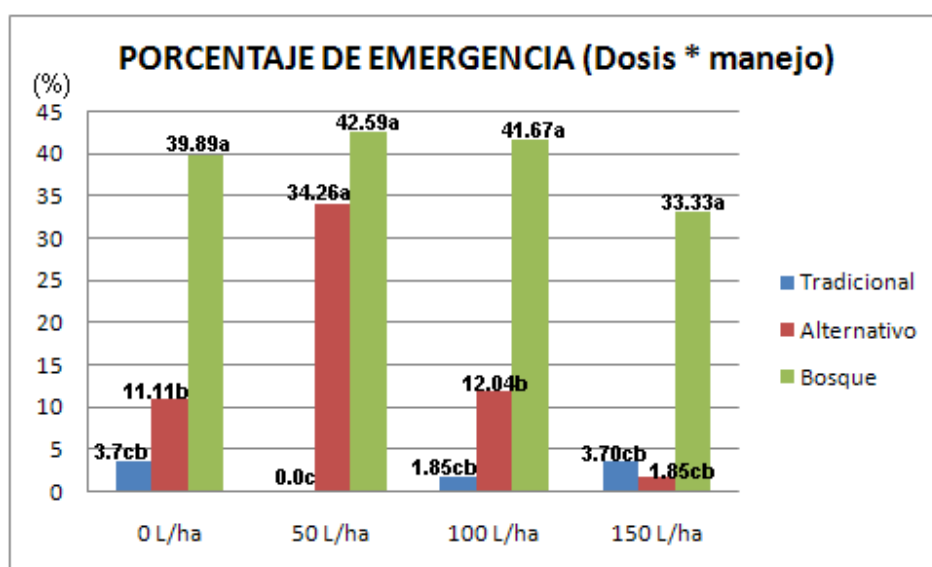
**Figura 10.** Diferencias significativas del Porcentajes de emergencia según Manejo del suelo.

- **Interacción Dosis \* Manejo**

Partiendo de la hipótesis: Los mayores porcentajes de emergencia se presentarán para los suelos con mayores dosis de aplicación de sustancias húmicas y en los suelos con menos intervención o con manejo bajo bosque; la hipótesis no se cumple debido a que el mayor porcentaje de emergencia no se encontró para el tratamiento con mayor dosis de álcali orgánico; sin embargo, considerando el porcentaje de emergencia para cada dosis de álcali orgánico, la hipótesis si se ajusta a lo planteado inicialmente, ya que el suelo con menos grado de intervención si presentó mayor porcentaje de emergencia.

En la Figura 12, se muestran las diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) que presentó el porcentaje de emergencia según la interacción de las dosis aplicadas con el manejo de los suelos. En todos los casos MB presentó valores más altos que MA y MT, respectivamente. Y se destaca que el mayor porcentaje de emergencia (34.26%) se encontró para la dosis de 50 l/ha de álcali orgánico

aplicado. Además, se observó que el manejo tradicional presentó muy bajos porcentajes de emergencia independientemente del tratamiento con dosis de álcali orgánico.

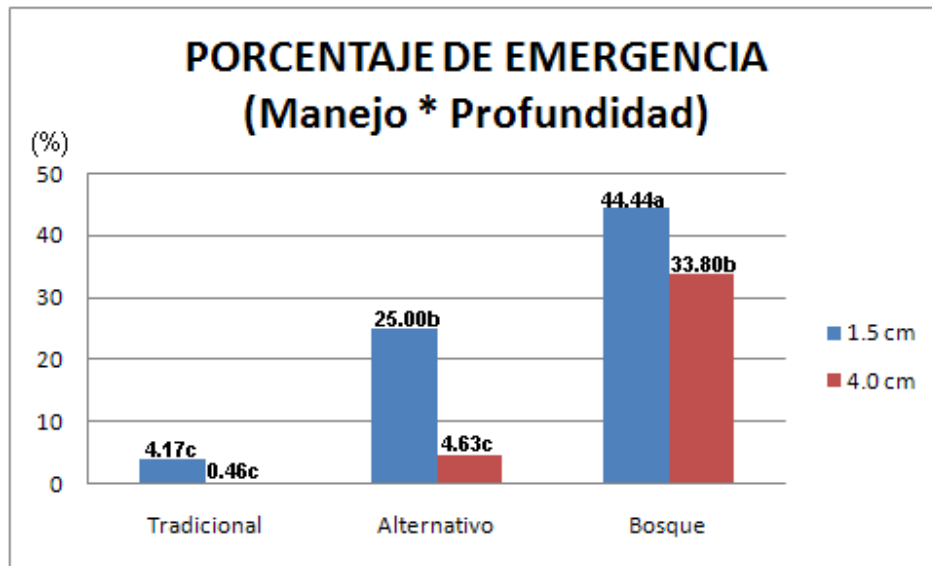


**Figura 11.** Porcentajes de emergencia según interacción Dosis \* Manejo.

Para todas las dosis el MB presentó porcentajes superiores al 30%, en especial para la dosis de 50 l/ha con un 42.59%.

- **Interacción Manejo \* Profundidad**

Partiendo de la hipótesis: La profundidad de siembra tiene una relación proporcional inversa con el porcentaje de emergencia y con el grado de intervención del suelo; se comprobó que la hipótesis se cumple. El porcentaje de emergencia presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) para la interacción Manejo Vs Profundidad de siembra, y se obtuvo mejor comportamiento conforme el suelo presentó menor intervención (Figura 13).



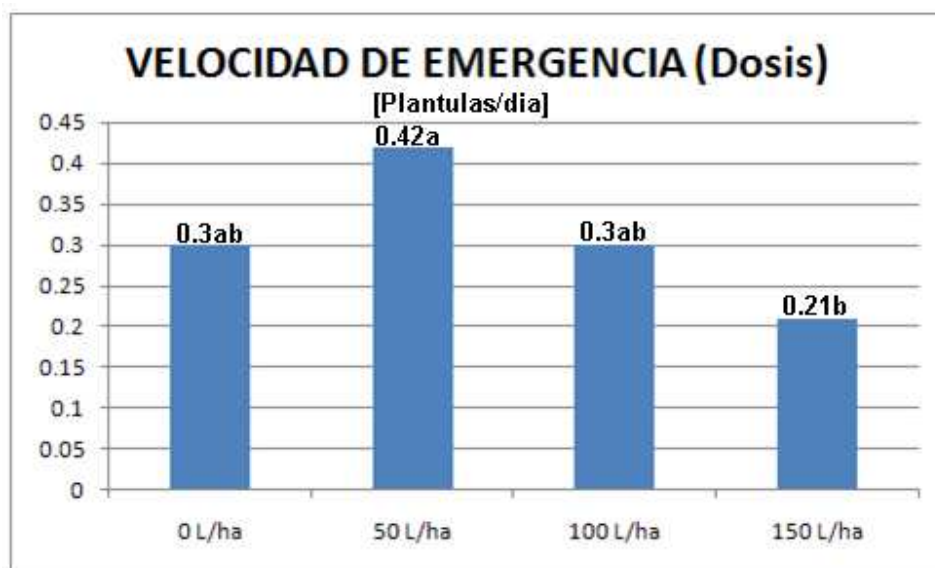
**Figura12.** Porcentaje de emergencia según interacción Manejo \* Profundidad.

De la Figura 13 se concluye, el MA y MB presentan mejores condiciones en el suelo, las cuales facilitan la emergencia de las plantas; así mismo, el menor grado de intervención de suelo con menores profundidades de siembra generan condiciones que aumentan la emergencia de plántulas.

### 8.3.2 Análisis de factores fijos para Índice de velocidad de emergencia (IVE)

- **Dosis**

Partiendo de la hipótesis: Los IVE más altos se presentarán para las mayores dosis de álcali orgánico; se puede decir que no se cumple debido a que el porcentaje más alto se presenta para la dosis de 50 l/ha.



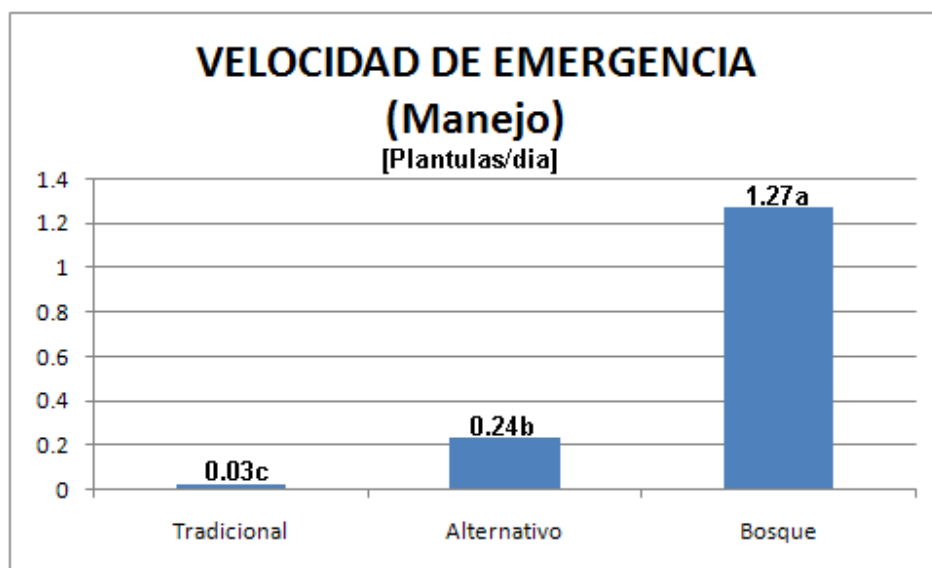
**Figura 13.** Influencia de las dosis de aplicación de álcali orgánico sobre el índice de velocidad de emergencia.

De la Figura 14, la velocidad de emergencia presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) y es menor para la dosis de 150 l/ha con un valor de 0.21plántulas/día, seguido de las dosis 100 y 150 l/ha con 0.3 plántulas/día y por último está la dosis de 50 l/ha que obtuvo la velocidad de emergencia más alta con 0.42 plántulas/día. Esto a su vez, indica que la dosis óptima de aplicación de álcali orgánico es de 50 l/ha, lo que concuerda con lo que afirma Ipaz (2011) quien encontró, con los mismos tratamientos, que la dosis de 50 l.ha<sup>-1</sup> permitió generar mejores velocidades de infiltración (79.15 mm.h<sup>-1</sup>).

- **Manejo**

Teniendo la hipótesis: Los IVE tienen una relación proporcional inversa con el grado de intervención del suelo. Esta se cumple ampliamente ya que el MB es cinco veces mayor que MA, teniendo que el IVE vario de la siguiente forma: MB>MA>MT.



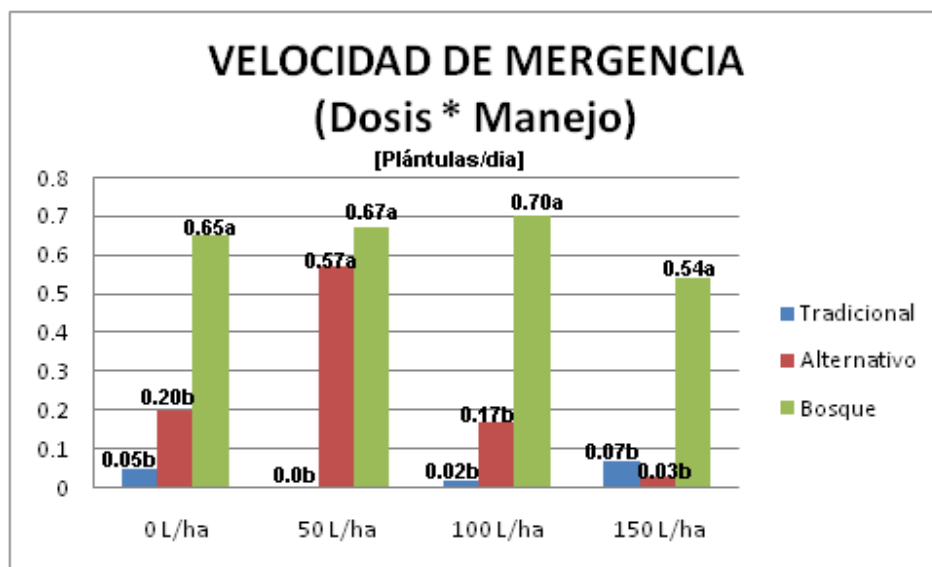


**Figura 14.** Índice de velocidad de emergencia según Manejo.

La Figura 15, indica las diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) encontradas en la velocidad de emergencia para los manejos analizados. La menor velocidad de emergencia se encontró para MT (0.03 plántulas/día), mientras para MA y MB fueron 0.24 y 1.27 plántulas/día, respectivamente.

- **Interacción Dosis \* Manejo**

Teniendo la hipótesis: El IVE tiene una relación proporcional directa con la dosis de álcali orgánico aplicado, e inversamente proporcional con el grado de intervención del suelo. La hipótesis se corroboró para el manejo del suelo, pero no en el caso del efecto de la dosis de álcali orgánico.



**Figura 15.** Índice de velocidad de emergencia según interacción Dosis Vs Manejo.

De la Figura 16, el IVE presentó diferencia altamente significativas ( $p < 0.01$ ) para la interacción Dosis Vs Manejo. MB presentó un IVE de 0.67 plántulas/día, para la dosis de 50 l/ha y MA con 0.57, MB con 0.67 plántulas/día, mientras MT no presentó velocidad de emergencia. En términos de manejo solo se presentaron diferencias en MA y dosis 50 l/ha con 0.57 plántulas/día; esto es un indicador de que el manejo alternativo es una opción de manejo de suelos que mantiene buenas características del suelo, lo que facilita la emergencia de las plántulas.

- Interacción Suelo \* Dosis \* Manejo**

Dosis	Vertic Haplustoll			Typic Haplustoll		
	Tradicional	Alternativo	Bosque	Tradicional	Alternativo	Bosque
0 L/ha	0.07 h	0.17 g	0.76 a	0.003 h	0.22 f	0.54 d
50 L/ha	0.00 h	0.67 b	0.49 d	0.00 h	0.48 d	0.85 a
100 L/ha	0.02 h	0.15 g	0.83 a	0.02 h	0.19 f	0.57 c
150 L/ha	0.00 h	0.00 h	0.83 a	0.13 g	0.05 h	0.26 e

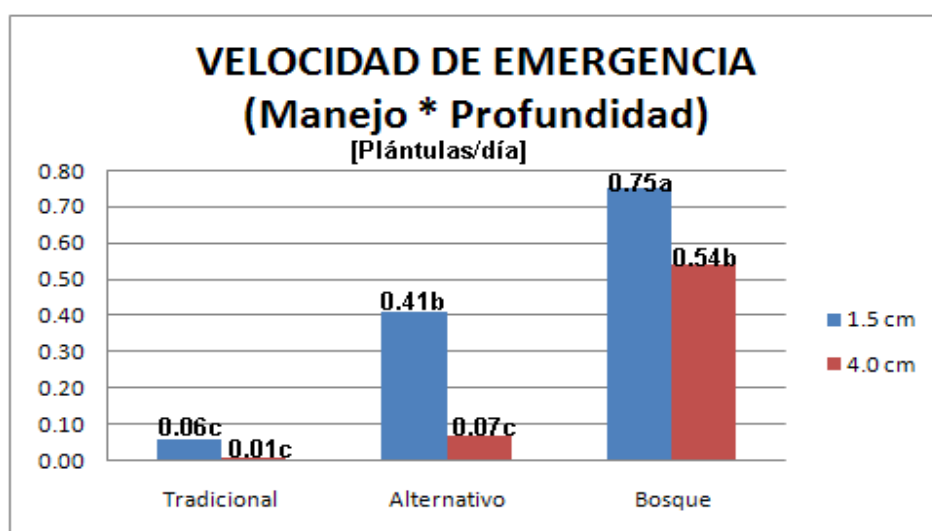
**Tabla 7.** Diferencias significativas del Índice de velocidad de emergencia para la interacción Suelo \* Dosis \* Manejo.

Vertic Haplustoll (VH): El MT no presentó diferencias significativas, el MA destacó la dosis de 50 l/ha por presentar el IVE con mayor valor, en MB presenta diferencias destacándose la dosis de 50 l/ha por presentar un valor ligeramente bajo en comparación con las demás dosis.

Typic Haplustoll (TH): en el MT cabe resaltar que la dosis de 150 l/ha produjo un IVE ligeramente mayor en comparación con las demás dosis, MA presenta diferencias en el IVE para todas las dosis, en MB hay diferencias destacando la dosis de 50 l/ha por presentar valores mayores de IVE.

Las dosis produjeron resultados significativos muy variados en términos de suelo y manejo, se debe destacar que para todas las dosis MB de VH presenta IVE mayores en comparación con TH, excepto en la dosis de 50 l/ha donde es al contrario, es decir el valor de IVE es mayor para TH que para VH. Es probable que esto se deba a que los suelos TH mantienen mejor la humedad que los suelos VH, el suelo VH pierde humedad más rápido, por consiguiente se endurece igualmente, retrasando ligeramente la emergencia.

- **Interacción Manejo \* Profundidad**



**Figura 16.** Índice de velocidad de emergencia según interacción Manejo \* Profundidad.

De la Figura 17, El IVE presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para la interacción Manejo Vs Profundidad; MB presenta diferencias, donde la profundidad de 1.5 cm presenta el IVE con mayor valor (0.75 plántulas/día), en MA es ampliamente mayor, el IVE para 1.5 cm con un valor 0.41 plántulas/día, en MT no se obtuvieron diferencias significativas para las dos profundidades; para la profundidad de 1.5 cm se presentan valores muy diferentes correspondiendo al orden  $MB > MA > MT$  y en la profundidad de 4 cm destaca MB por tener un IVE ampliamente mayor a los otros dos tipos de manejo.

#### **8.4 ANALISIS DE CORRELACIONES**

Por medio del software estadístico SPSS se calcularon las correlaciones entre las variables determinadas, las cuales se relacionan en el ANEXO 9.

- **Porcentaje de emergencia e Índice de velocidad de emergencia Vs Resistencia a la Ruptura**

El porcentaje de emergencia (%E) presenta una correlación negativa con las resistencias a la ruptura (RR), con un  $p < 0.01$  el coeficiente de correlación de Pearson para resistencia a la ruptura en el día cinco desde la siembra (RR5) fue  $R = -0.605$  indicando una correlación inversa altamente significativa; para la resistencia a la ruptura en el día diez desde la siembra (RR10) fue  $R = -0.648$  indicando una correlación inversa ligeramente mayor entre %E, RR5 y RR10, en otras palabras si RR aumenta el %E disminuye. La correlación entre RR5 y contenido de humedad en el día 5 (H5) es  $R = -0.266$  indicando correlación inversa entre la H5 y RR5; igualmente se presentó una  $R = -0.231$  entre RR10 y H10. Los coeficientes de correlación entre humedad y resistencia a la ruptura son bajos probablemente a que la lectura de humedad se llevó a cabo el quinto día donde ya el suelo ha perdido gran parte de su humedad. La negatividad del coeficiente

indica que a medida que la humedad disminuye, la resistencia a la ruptura aumenta.

Al igual que con el %E, la correlación entre IVE, RR5 y RR10 es inversa con unos  $R_{RR5}=-0.604$  y  $R_{RR10}=-0.646$ , se puede apreciar q los valores no difieren mucho de las correlaciones con %E; de esto se puede decir que a medida que la RR aumenta, el IVE disminuye.

Según (Borselli, *et al*, 1996) la alta resistencia a la ruptura característica de bajos contenidos de humedad, tiene un marcado efecto dificultando la emergencia de plántulas. En un suelo encostrado, el desarrollo de una costra con alta resistencia a la ruptura es uno de los factores severamente más limitantes para la capacidad de emergencia de una plántula. El encostramiento de suelos es visto como una fuente de variabilidad experimental del ambiente al que están expuestas las plántulas, ya que es la mayor causa de fracaso en el establecimiento de cultivos, en un amplio rango de suelos con baja estabilidad de agregados (Hanegreefs y Nelson, citados por Borselli, *et al*, 1996).

- **Porcentaje de emergencia e Índice de velocidad de emergencia Vs Espesor de Costra y Espesor de Capa Disgregada**

Son altamente significativas con  $p<0.01$  las correlaciones de Pearson para espesor de costra (EspC) y espesor de capa disgregada (EspCD); las correlaciones de EspC y EspCD con %E fueron  $R=-0.550$  y  $R=-0.391$  respectivamente, indicando que las correlaciones son inversas y es más influyente EspC que EspCD. Siguiendo valores del mismo orden las correlaciones para IVE con EspC y EspCD fueron  $R=-0.546$  y  $R=-0.347$ , por consiguiente aplica la misma interpretación, para IVE las correlaciones son inversas y tiene un mayor grado de influencia EspC que EspCD.

La emergencia de plántulas puede ser detenida o ralentizada por una costra de suelo desde sus primeras etapas de formación y el grado de impacto de la costra depende de la velocidad y etapa de encostramiento del suelo (Richard y Boiffin, citados por Gallardo-Carrera, *et al*, 2007). El impacto de la velocidad a la cual el suelo se encostra depende del tiempo tomado por la plántula para alcanzar la superficie del suelo y de la presión ejercida por la plántula para penetrar la costra. El IVE depende de la especie a cultivar, profundidad de siembra, estructura del suelo, temperatura y contenido de agua del suelo. Cuando las temperaturas son más bajas, es mayor el tiempo que debe transcurrir entre la siembra y que la plántula alcance la superficie del suelo en algunos casos llegando hasta 15 días; en campo esto se traduce a un mayor riesgo de encostramiento ya que deja mayor tiempo para acumular grandes cantidades de lluvia que puede incrementar el espesor y la resistencia de la costra (Gallardo-Carrera, *et al*, 2007).

#### **8.5 DETERMINACION DEL EFECTO DEL ENCOSTRAMIENTO DE TYPIC Y VERTIC HAPLUSTOLLS SOBRE LAS VARIABLES ANALIZADAS**

Siguiendo la literatura sobre encostramiento, es ampliamente aceptado que la formación de costra en el suelo dedicado a la siembra causa deterioro en las propiedades físicas-hidráulicas del suelo, lo que se traduce en un decremento en el porcentaje emergencia de plántulas (Arndt, citado por Gallardo-Carrera, *et al*, 2007; Thierfelder, 2003) causando fracasos en el establecimiento de cultivos, incrementando costos de producción y atrasos en los mismos (Oliver, 2000).

En este estudio se pretendió someter las semillas a diferentes ambientes adversos en términos de encostramiento, lo cual fue imposible lograr debido a que se encontró que las mejoras en las condiciones del suelo no son proporcionales a la cantidad de álcali orgánico aplicada (Dosis); (Henríquez *et al*, citado por Hoyos, 2011) encontraron que al aplicar acondicionadores orgánicos al suelo con dosis entre 500 y 2000 mg.l<sup>-1</sup>, la dosis con mejor respuesta fue la de 500 mg.l<sup>-1</sup>, lo que

indica que la respuesta del suelo no es proporcional a la cantidad de acondicionador aplicado, sino que existe una dosis óptima para cada condición de suelo. En este caso y en términos de emergencia se puede decir que la mejor respuesta la ofrece la dosis de 50 l/ha, las dosis de 100 y 150 l/ha presentaron menor porcentaje de emergencia que el testigo (0 l/ha), indicando que hacer aplicaciones de álcali orgánico en cantidades que no son las aptas para el tipo de suelo puede empeorar las condiciones de encostramiento de los mismos, esto se debe a que el exceso de sustancias húmicas por el contrario de prevenir el hinchamiento de las partículas de suelo termina contribuyendo y distanciando las mismas, impidiendo la cohesión entre partículas que se pretende lograr con la aplicación de este tipo de productos.

Para el factor fijo determinado suelo, no se presentaron diferencias significativas, de ello podemos decir que no tuvieron una participación demasiado activa en el decremento del porcentaje de emergencia.

La incidencia del grado de intervención de suelo (mecanización) es muy alta, como se observó en ningún caso el porcentaje de emergencia en MT superó el 5%, el MA oscila entre 10 y 33% aproximadamente, esto supone una amplia mejoría con respecto a MT; MB presenta valores más altos, pero en ningún caso superan el 50% de %E, indicando que son suelos sujetos a una fuerte degradación en severidad y potencial, implicaría como mínimo doblar el presupuesto para la siembra el establecer un cultivo de soya en estos suelos sometidos a dichos manejos.

La profundidad de siembra presentó diferencias muy marcadas, que fueron menores para el MB como era de esperar, ya que es el suelo menos expuesto al impacto de las gotas de agua por lluvia, carece de riego y de laboreo; en MA la profundidad de 1.5 cm obtuvo un porcentaje de emergencia ocho veces superior a la de 4 cm y MT igualmente que obtuvo ocho veces un valor superior para la profundidad de 1.5 cm; el MT para la profundidad de 4 cm tuvo un valor de

$\%E=0.46\%$  y para 1.5 cm de  $\%E=4.17\%$ , lo que indica que es totalmente inviable un cultivo en estos suelos, sin intervenirlos de manera eficiente buscando mejorar sus condiciones de estructura y estabilidad de agregados. (Mazzani, *et al*, 2001) estudió el desarrollo fisiológico del ajonjolí sembrado en suelo pesado y liviano para profundidades de 1, 4, 8 y 12cm, encontrando una diferencia de más del 50% en la longitud del hipocotilo entre las plántulas de 1 y 12cm; si a esto se adiciona el factor encostramiento se puede entender el comportamiento de las plántulas de soya que es una especie que se caracteriza por ser de emergencia débil, la resistencia que ofrece el encostramiento aunado a la columna de suelo que la plántula necesita atravesar para llegar a la superficie del suelo, causa averías en las estructuras principales produciendo así, plántulas anormales no aptas para conteo de  $\%E$  y por consiguiente el IVE.



**Figura 17.** Efectos del encostramiento en la fisiología de la plántula.

Sería importante formular un estudio en el que se analice los daños causados a la fisiología de las plántulas, por el efecto del encostramiento bajo diferentes tipos de suelo bajo una aplicación óptima de álcali orgánico para poder apreciar sus diferencias.



El IVE obtuvo el mismo comportamiento que %E para todos los factores que se analizaron en este estudio, lo que permite aseverar sobre la alta consistencia de los resultados, pese a la pobre o inexistente literatura al respecto.

## 9 CONCLUSIONES

- En términos de dosis de álcali orgánico la de 50 l/ha es la óptima para las condiciones de emergencia y los suelos estudiados, mostrando un incremento en el %E e IVE en comparación con el testigo; las demás dosis presentaron reacciones desfavorables.
- Los manejos MT y MA son desfavorables para las condiciones físico-hidráulicas del suelo, influyendo negativamente sobre %E e IVE en comparación con MB, las diferencias en %E e IVE son altamente significativas indicando la superioridad del MB por una amplia diferencia, llegando a imposibilitar la rotación de cultivos en los suelos bajo dichos manejos, para algunas especies de emergencia débil como la soya. Pero, también se concluye que el MA permite mantener mejores condiciones físicas del suelo bajo sistemas de producción agrícola intensiva.
- Las diferencias altamente significativas entre %E e IVE contra las RR, indica el grado de daño que infringe al suelo la secuencia de labores de mecanización, donde en el día cinco con humedad favorable para el crecimiento de las plántulas, ya se presentan condiciones adversas para el buen desarrollo de estas, para MT la RR en ninguna dosis fue inferior a 2.2 Kg/cm<sup>2</sup>, para MA y MB se presentaron valores menores permitiendo un mayor %E e IVE.
- El EspC y EspCD tienen una correlación altamente significativa, representado por el espesor de la capa endurecida que las plántulas deben atravesar para poder emerger; en MT y MA ningún valor de EspC es inferior a 22mm y en MB ningún valor es superior a 17mm. Para EspCD los valores presentan diferencias en las dosis de aplicación, pero no entre manejos.
- Según los datos obtenidos es inviable el establecimiento de un cultivo de soya en los suelos estudiados bajo MT y MA, debido al tipo débil de emergencia que tiene esta especie.

- Los altos %E e IVE de MB y MA en comparación con MT hace inevitable, el uso de técnicas de labranza agroecológicas y mas sustentables, que incremente el contenido de MO e incremente el grado de floculación del suelo, estreuctura y estabilidad de agregados para favorecer las propiedades físicas-hidráulicas del suelo que permitan un mayor %E e IVE.

## 10 RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar estudios con un mayor tamaño de muestra, para minimizar el error presentado, así mismo ampliar el estudio a otros órdenes de suelos, determinando la dosis de álcali orgánico y época de aplicación ideal; también realizar el ensayo de germinación con especies con un tipo de emergencia más fuerte como por ejemplo el maíz.
- Realizar estudios de emergencia en campo para cotejar los resultados obtenidos en este trabajo de investigación.
- Evaluar el daño fisiológico causado por el efecto del encostramiento sobre la emergencia de plántulas de soya, para contribuir a la creación de nuevas variedades en las que el %E e IVE se vea potenciado.

## 11 BIBLIOGRAFIA

ALEKSEEVA, T., & ALEKSEEV, A. 1999. Factors affecting the structural stability of three contrasting soils of China. *Catena*. Vol. 38. Pp. 45–64.

ALIZAGA, G. ALIZAGA, R. Y HERRERA, J. 1987. Evaluación del vigor de la semilla de soy a (*glycine max* (l.) y su relación con la emergencia y el rendimiento. *Agronomía Costarricense* 11(2): 195-203.

ALIZAGA, R. MELLO, V. DOS SANTOS, D. IRIGON, D. 1994. Evaluación del vigor en semilla de *phaseolus vulgaris* y su relación con la emergencia en el campo. *Agronomía Costarricense* 18(2): 227-234.

BAI, Z. DENT, D. OLSSON, L. AND SCHAEPMAN, M. 2008. Global assessment of land degradation and improvement 1: identification by remote sensing. Report 2008/01, FAO/ISRIC – Rome/Wageningen

BRADFIEL, R. y JAMISON, V. C. 1939. Soil Structure-Attempts at Its Quantitative Characterization . *Soil Science Society of America Journal*, vol. 3, p. 70–76.

BRAUNACK, M. 1994. Effect of aggregate size and soil water content on emergence of soybean (*Glycine max*, L. Merr.) and maize (*Zea mays*, L.). En: *Soil & Tillage Research* 33 (1995) 149- 161

BRESSON, L.M. 1995. A Review of Physical Management for Crusting Control in Australian Cropping Systems. Soil and Water Management and Conservation. En: Aust. J. Soil Res., 1995, 33, 195-209

BORSELLI, L. BIANCALANI, R. GIORDANI, C. CARNECELLI, S Y FERRARI, G.A. 1996. Effect of gypsum on seedling emergence in a kaolinitic crusting soil. En: Soil Technology 9 (1996) 7 I-8 1

CÁRDENAS, D. Y CORTES, O. 1991. Factores asociados a la perdida de germinación y vigor en la semilla de dos variedades de soya, Glycine max (L,) Merrill. En poscosecha. Trabajo de grado agronomía. Facultad de ciencias agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

COBO, L. 1998. Diseño, construcción y evaluación de un minisimulador portátil de lluvia para estudios de susceptibilidad a erosión en laderas. Tesis, 64 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF DE UNITED NATIONS (FAO). 1992. Manual de sistemas de labranza para América Latina. Boletín de suelos de la FAO, no. 66, Roma, 196 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF DE UNITED NATIONS (FAO). 1993. Soil tillage in Africa: needs and challenges. En: [http://www.fao.org/docrep/t1696e/t1696e06.htm#P16\\_122](http://www.fao.org/docrep/t1696e/t1696e06.htm#P16_122) (Abril 4, 2009)

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF DE UNITED NATIONS (FAO). 2008 Aumenta la degradación del suelo. En:

[http://lprlada.fao.org/lada/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=58&Itemid=157](http://lprlada.fao.org/lada/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=58&Itemid=157) (Marzo 8, 2012)

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF DE UNITED NATIONS (FAO), 2009. Guía para la descripción de suelos. En: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a0541s/a0541s00.pdf> (Marzo 9, 2012)

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF DE UNITED NATIONS (FAO). 2011. FAOSTAT Estadísticas agrícolas de la soya. En: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor> (Marzo 8, 2012)

FORTUN, C. y FORTUN, A. 1989. Diversos aspectos sobre el papel de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de los agregados del suelo. *Edafol. Agrobiol.*, vol. 48, p. 185-204.

GALLARDO-CARRERA, A. LEONARD, J. DUVAL, Y. DURR, C, 2007. Effects of seedbed structure and water content at sowing on the development of soil surface crusting under rainfall. *Soil & Tillage Research* 95 (2007) 207–217.

HOYOS, C.A., 2011. Efecto de la aplicación de álcali orgánico sobre la susceptibilidad al sellamiento y encostramiento de Typic y Vertic haplustolls del Valle del Cauca. Tesis de pregrado. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

IGAC. 1990. Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá.

IPAZ, S. N. 2011. Efecto de las características de la lluvia simulada (intensidad, tamaño de gota, lámina acumulada y energía cinética), sobre la formación de sellos y costras en Typic y Vertic Haplustolls del Valle del Cauca. Tesis doctoral. Escuela de Posgrados. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. P.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). 1992. Fertilización en diversos cultivos: Quinta aproximación. Tibaitatá, Bogotá. Pp. 64.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC) y CENICAÑA. 2004. Estudio detallado de suelos y Capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar localizadas en el Valle Geográfico del río Cauca. Departamento del Valle del Cauca, Colombia.

INTA. 2006. Calidad de semillas de soja. En: <http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/oleaginosa/soja03.pdf> (Mayo 3, 2009)

ISTA – International seed Testing Association. 2005. International rules for seed testing. Seed Science y technology, Zurich. p 5.1 – 5A.50



LOBO, D., & PULIDO, M. 2006. Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos. Universidad Central de Venezuela, VENESUELOS. Vol. 14. Pp. 22-37

LOPES, P.; GISBERT, J.M.; GÓMEZ, L.D. Y OLIVEIRA, C. A. 1998. Efecto de dosis de ácido polimaleico PAM en la estabilidad estructural de suelos salinos. En: Revista Edafología [online]. N° 5. Dic 1998. p 11-28. Disponible en: [www.edafologia.ugr/revista/Tomo5/Art11Texto.html](http://www.edafologia.ugr/revista/Tomo5/Art11Texto.html)

LOZANO, Z. 2002. Susceptibilidad a la degradación física de Alfisoles de los llanos centrales y occidentales de Venezuela. En: Rev. Fac. Agron. N°28 Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. p 41-57.

MAZZANI, B. MARTÍNEZ, A. ALLIEVI, Y.J. 2001. Emergencia de plántulas y longitud de hipocotilo en cuatro variedades de ajonjolí sembradas a diferentes profundidades. Centro de Investigaciones Agronómicas, Maracay, Venezuela. Agronomía Tropical 21(1):11-15.

MCWILLIAMS, D.A., BERGLUND, D.R., ENDRES, G.J. 1999. Soybean Growth and Management Quick Guide. North Dakota State University and University of Minnesota. En: <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/rowcrops/a1174/a1174.pdf> (Marzo 22, 2012)

MOLINA DURÁN, E.J., MOLINA CASTRO, C.H., MOLINA DURÁN, C.H., MOLINA DURÁN, J.P. 2007. Estudio de Caso Sobre el Manejo Convencional y

Agroecológico del Cultivo de la Caña de Azúcar en el Valle del Cauca, Colombia. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV).

MOLINA DURÁN, E.J., MOLINA CASTRO, C.H., & MOLINA DURÁN, C.H. 2009. Manejo de los recursos naturales en la conservación y mejoramiento de la biodiversidad genética en la Reserva natural El Hatico. En: memorias X simposio Iberoamericano sobre la conservación de recursos zoogenéticos. Universidad nacional de Colombia sede Palmira, Colombia. Pp 52-71.

MUÑOZ, L. 1990. Evaluación de algunos factores que inciden en la perdida de viabilidad de la semilla de soya, *Glycine max* (L.) Merrill. Trabajo de grado de pregrado. Facultad de ciencias agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

OLIVER, P. 2000. Determinación del encostramiento de suelo con diferentes sistemas de manejo. En: [http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt/2000/5\\_agrarias/a\\_pdf/a\\_007.pdf](http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt/2000/5_agrarias/a_pdf/a_007.pdf) (Abril11, 2009)

PAGLIAI, M. 2004. Soil crusting. En: College on Soil Physics. Italy. Pp.24.

QUINTERO, R. y C. CASTILLA. 1992. Agrupación de los suelos del valle geográfico del río Cauca. Cenicaña. Cali. Pp. 19.

REGÜÉS, D Y TORRI, D, 2002. Rainfall kinematics energy effect on physical properties dynamics and crusting of a clayey bare soil. En: [http://digital.csic.es/bitstream/10261/4493/1/Cuaternalario16\(1-4\)\\_07.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/4493/1/Cuaternalario16(1-4)_07.pdf). (Mayo 1, 2009)

RICHARDS, L. 1953. Modulus of rupture as an index of crusting of soil. En: Soil Sci Soc Am (17): 321-323p.

RUIZ, E. M. 1999. Efecto de cuatro sistemas de labranza en el mejoramiento de algunas propiedades físicas del suelo de un Vertisol cultivado intensivamente, en el valle geográfico del río Cauca. Trabajo de grado de Maestría. Escuela de Posgrados. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

SALINAS, A. YOLDJIAN, A, CRAVIOTTO, R. Y BISARO, V. 2001. Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 36, n. 2, p. 371-379.

THIERFELDER, C. 2003. Soil crusting and sealing in cropping systems of the Colombian Andes. In: E. Kandeler, Y. Kuzyakov, K. Stahr and T. Streck (Editors), Hohenheimer Bodenkundliche Hefte, No. 70. University of Hohenheim, Stuttgart. ISSN 0942-0754

THIERFELDER, C.; AMÉZQUITA, E Y STAHR, K. 2003. Soil crusting and sealing in the Andean Hillsides of Colombia and its impact on water infiltration. En: <http://www.tropentag.de/2003/abstracts/full/78.pdf> (Abril 11, 2009)

TORRENTE, A.; GARCÍA-OCAMPO, C. A.; ESCOBAR, CH.; AMÉZQUITA E.; SAMPAYO, T. J. 2003. Condiciones hidrofísicas de suelos con alta saturación de magnesio en el Valle del Cauca, Colombia. ACTA AGRONÓMICA. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, vol. 52, no. 1-4, p. 29-37.

TORRES, J. 1996. Avances en el sistema de labranza reducida para la renovación de plantaciones de caña de azúcar. En: Informe anual de CENICAÑA. Cali, Colombia. Documento de trabajo No. 333. Pp. 17.

USDA, 2008. Soils quality indicators. En: [http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/soil\\_crusting\\_sq\\_physical\\_indicator\\_sheets.pdf](http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/soil_crusting_sq_physical_indicator_sheets.pdf) (Mayo 3, 2009)

WISHMEIER, W.H. y SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. U.S. Department of agriculture. Agriculture Handbook, no. 537, U.S. Government Printing Office, Washintong, D.C.

ZUÑIGA, O. 2003. Evaluación del estado de compactación, degradación, actividad microbiana y reserva energética de suelos sembrados con caña de azúcar utilizando el método electrotérmico y su implementación en un sistema de información geográfica. departamento de física grupo de investigación en ciencias ambientales y de la tierra, ILAMA. Universidad del valle. Cali, Colombia.



## 12 ANEXOS

**ANEXO 1.** Anova para porcentaje de emergencia bajo factores Dosis, Manejo, Suelo y Profundidad de siembra.

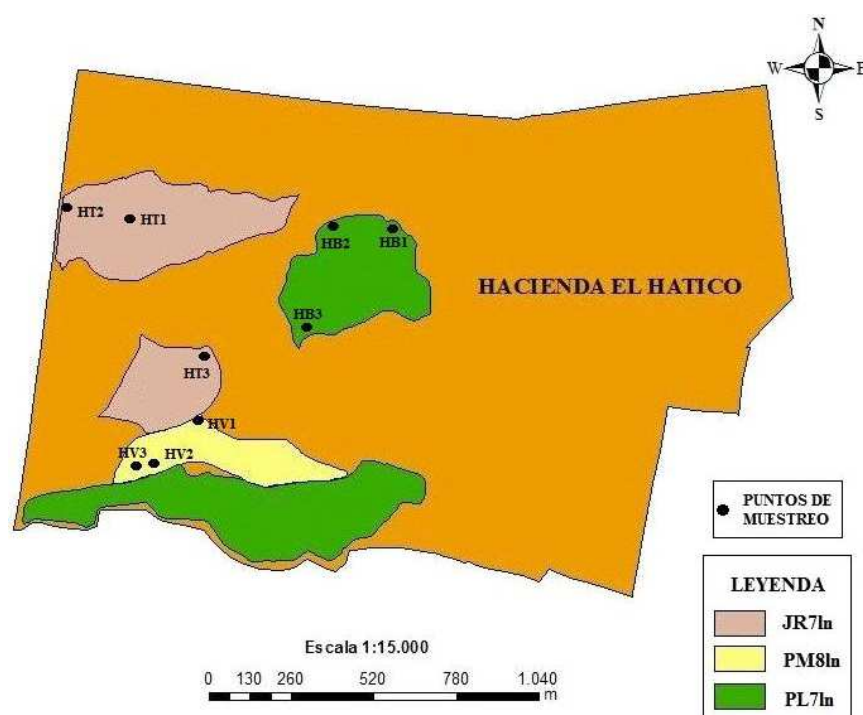
Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Porcentaje de Emergencia					
Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	798,689(a)	47	16.993	5.309	0.000
Intersección	1,738.682	1	1,738.682	543.141	0.000
Dosis	38.931	3	12.977	4.054	0.009
Suelo	2.660	1	2.660	0.831	0.364
Manejo	481.920	2	240.960	75.273	0.000
Prof	72.123	1	72.123	22.530	0.000
Dosis * Suelo	4.106	3	1.369	0.428	0.734
Dosis * Manejo	75.007	6	12.501	3.905	0.002
Suelo * Manejo	15.964	2	7.982	2.493	0.088
Dosis * Suelo * Manejo	32.726	6	5.454	1.704	0.128
Dosis * Prof	10.629	3	3.543	1.107	0.350
Suelo * Prof	3.664	1	3.664	1.145	0.287
Dosis * Suelo * Prof	4.728	3	1.576	0.492	0.688
Manejo * Prof	20.116	2	10.058	3.142	0.048
Dosis * Manejo * Prof	22.672	6	3.779	1.180	0.323
Suelo * Manejo * Prof	0.542	2	0.271	0.085	0.919
Dosis * Suelo * Manejo * Prof	12.902	6	2.150	0.672	0.673
Error	307.311	96	3.201		
Total	2,844.682	144			
Total corregida	1,106.000	143			

a. R cuadrado = ,722 (R cuadrado corregida = ,586)

**ANEXO 2.** Anova para índice de velocidad de emergencia bajo los factores Dosis, Manejo, Suelo y Profundidad de siembra.

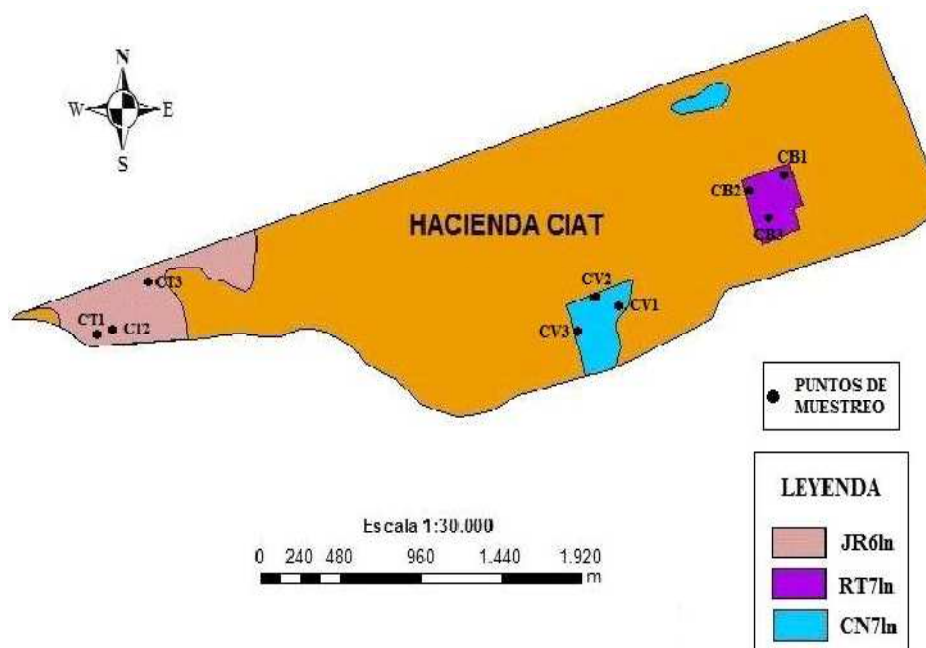
Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Índice de Velocidad de Emergencia					
Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	2,869(a)	47	0.061	4.994	0.000
Intersección	183.896	1	183.896	15,045.198	0.000
Dosis	0.127	3	0.042	3.458	0.019
Suelo	0.017	1	0.017	1.365	0.246
Manejo	1.591	2	0.796	65.087	0.000
Prof	0.258	1	0.258	21.072	0.000
Dosis * Suelo	0.024	3	0.008	0.644	0.589
Dosis * Manejo	0.247	6	0.041	3.372	0.005
Suelo * Manejo	0.055	2	0.027	2.238	0.112
Dosis * Suelo * Manejo	0.201	6	0.034	2.747	0.017
Dosis * Prof	0.081	3	0.027	2.208	0.092
Suelo * Prof	0.009	1	0.009	0.725	0.396
Dosis * Suelo * Prof	0.017	3	0.006	0.473	0.702
Manejo * Prof	0.081	2	0.040	3.293	0.041
Dosis * Manejo * Prof	0.105	6	0.017	1.430	0.211
Suelo * Manejo * Prof	0.003	2	0.001	0.113	0.893
Dosis * Suelo * Manejo * Prof	0.055	6	0.009	0.744	0.615
Error	1.173	96	0.012		
Total	187.939	144			
Total corregida	4.042	143			

a. R cuadrado = ,710 (R cuadrado corregida = ,568)

**ANEXO 3.** Mapa de puntos de muestreo Hacienda El Hatico.**ANEXO 4.** Taxonomía y coordenadas de los puntos de muestreo en la Hacienda El Hatico.

Taxonomía	Unidades Cartográficas	Fase	Suelo	Coordenadas	
				Latitud	Longitud
Typic Haplustolls, familia francosa fina, mezclada, activa.	Consociación Jordán	JR7ln	HT1	N 3°38'48,36"	W 76°20'05,82"
			HT2	N 3°38'49,08"	W 76°20'12,42"
			HT3	N 3°38'33,78"	W 76°19'58,62"
Vertic Haplustolls, familia francosa fina, mezclada, superactiva.	Consociación Palmeras	PM8ln	HV1	N 3°38'27,78"	W 76°19'58,68"
			HV2	N 3°38'22,98"	W 76°20'04,02"
			HV3	N 3°38'22,86"	W 76°20'05,52"
Pachic Haplustolls, familia francosa fina, mezclada, superactiva.	Consociación Palmira	PL7ln	HB1	N 3°38'47,04"	W 76°19'39,54"
			HB2	N 3°38'43,44"	W 76°19'44,22"
			HB3	N 3°38'37,26"	W 76°19'47,76"



**ANEXO 5.** Mapa de puntos de muestreo en el CIAT.**ANEXO 6.** Taxonomía y coordenadas de los puntos de muestreo en el CIAT.

Taxonomía	Unidades Cartográficas	Fase	Suelo	Coordenadas	
				Latitud	Longitud
Typic Haplustolls, familia francosa fina, mezclada, activa.	Consociación Jordán	JR6ln	CT1	N 3°29'54,36"	W 76°22'59,28"
			CT2	N 3°29'56,70"	W 76°22'53,22"
			CT3	N 3°30'03,30"	W 76°22'50,01"
Vertic Haplustolls, familia limosa fina, mezclada, superactiva.	Consociación Ricaurte	RT7ln	CV1	N 3°30'01,08"	W 76°21'18,00"
			CV2	N 3°30'03,00"	W 76°21'23,34"
			CV3	N 3°30'06,78"	W 76°21'25,80"
Pachic Vertic Haplustolls, familia fina, esmectita.	Consociación Cantarina	CN7ln	CB1	N 3°30'23,76"	W 76°20'46,56"
			CB2	N 3°30'21,18"	W 76°20'52,50"
			CB3	N 3°30'17,40"	W 76°20'48,54"

**ANEXO 7.** Promedio de las características físicas iniciales de acuerdo a manejo y tipo de suelo.

	Arcilla	Limo	Arena	A. fina	Da	DR
Lote	(%)	(%)	(%)	(%)	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]
HV1	21.56	42.96	35.48	21.02	1.35	2.55
HV2	20.80	50.96	28.24	51.09	1.37	2.73
HV3	25.61	45.29	29.11	50.18	1.25	2.50
HT1	30.39	53.19	16.42	50.08	1.40	2.61
HT2	19.99	49.08	30.93	60.52	1.42	2.68
HT3	24.00	49.14	26.86	57.97	1.45	2.57
HTB1	24.76	52.08	23.16	80.22	1.33	2.57
HTB2	30.37	43.26	26.37	75.75	1.10	2.58
HTB3	26.32	40.57	33.11	45.89	1.10	2.65
CV1	25.56	48.09	26.36	50.20	1.54	2.69
CV2	27.98	47.82	24.20	61.52	1.51	2.88
CV3	27.16	49.03	23.80	64.03	1.48	2.67
CT1	28.81	54.03	17.16	80.35	1.43	2.94
CT2	31.96	52.70	15.34	86.29	1.34	2.69
CT3	35.16	57.88	6.96	48.64	1.48	2.64
CVB1	19.18	57.83	22.99	54.06	1.10	2.57
CVB2	16.79	44.78	38.44	42.08	1.10	2.54
CVB3	18.39	47.17	34.43	36.70	1.10	2.59

HV	22.66	46.40	30.94	40.76	1.32	2.59
HT	24.79	50.47	24.74	56.19	1.42	2.62
HB	27.15	45.31	27.55	67.29	1.18	2.60
CV	26.90	48.31	24.79	58.59	1.51	2.74
CT	31.97	54.87	13.15	71.76	1.42	2.76
CB	18.12	49.93	31.95	44.28	1.10	2.57

Tradicional	29.44	51.59	18.97	65.17	1.46	2.75
Alterno	23.73	48.43	27.84	48.48	1.37	2.61
Bosque	22.63	47.62	29.75	55.78	1.14	2.59

Typic	27.97	50.22	21.81	65.08	1.34	2.66
Vertic	22.56	48.21	29.23	47.87	1.31	2.63

**Sin Bosque**

Typic	28.38	52.67	18.95	63.97	1.42	2.69
Vertic	24.78	47.36	27.86	49.67	1.42	2.67

Da:Densidad Aparente; DR: Densidad Real

## ANEXO 8. Promedio de las características químicas iniciales de acuerdo a manejo y tipo de suelo.

	pH	MO	P Asim	CIC	Al	Ca	Mg	K	Na	C.E.	RAS	PMgl	PSI
Lote	[1:1]	[%]	[ppm]	[me/100g]						[dS/m]		[%]	[%]
HV1	7.2	6.4	70	20.0	ND	13.0	12.10	1.33	1.44	0.90	0.15	60.62	7.21
HV2	7.5	4.9	121	12.4	ND	21.0	8.40	1.58	0.91	0.90	0.34	67.52	7.32
HV3	7.4	6.2	123	13.3	ND	19.5	9.20	2.51	1.18	1.00	0.17	69.07	8.86
HT1	7.5	6.8	113	22.8	ND	32.4	13.40	1.08	0.93	0.80	0.06	58.90	4.09
HT2	7.8	5.3	112	19.9	ND	36.0	9.20	1.14	1.18	0.80	0.13	46.16	5.92
HT3	8.0	4.3	113	16.4	ND	33.7	12.30	0.67	0.95	0.70	0.06	74.82	5.78
HTB1	7.2	5.0	26	18.0	ND	22.1	13.20	0.93	1.12	1.00	0.09	73.41	6.23
HTB2	6.3	6.6	24	17.1	ND	24.6	11.90	0.58	1.43	0.70	0.10	69.75	8.38
HTB3	7.6	3.6	111	17.2	ND	34.0	9.80	1.46	1.24	0.90	0.07	56.84	7.19
CV1	7.7	3.0	112	15.1	ND	20.8	9.90	2.04	2.22	0.70	0.10	65.69	14.73
CV2	7.9	3.0	112	15.9	ND	30.0	13.50	3.28	4.36	0.80	0.09	85.01	27.46
CV3	7.9	3.5	114	16.3	ND	25.9	12.70	4.82	1.11	1.00	0.13	77.82	6.80
CT1	7.9	4.6	113	18.3	ND	29.1	8.30	0.93	1.03	0.80	0.10	45.48	5.64
CT2	7.5	5.5	112	22.3	ND	46.3	9.30	0.71	1.96	0.70	0.12	41.72	8.79
CT3	7.6	5.3	112	24.2	ND	41.1	14.10	1.64	2.64	0.60	0.25	58.39	10.93
CVB1	7.1	8.0	196	18.1	ND	24.3	11.10	4.13	0.51	1.10	0.04	61.43	2.82
CVB2	7.0	5.0	171	12.9	ND	17.3	8.70	3.68	1.05	0.90	0.07	67.65	8.16
CVB3	6.6	8.5	146	15.6	ND	15.5	8.30	2.44	2.41	0.80	0.03	53.21	15.45

HV	7.4	5.8	104.7	15.2		17.8	9.9	1.8	1.2	0.9	0.2	65.7	7.8
HT	7.8	5.5	112.7	19.7		34.0	11.6	1.0	1.0	0.8	0.1	60.0	5.3
HB	7.0	5.1	53.7	17.4		26.9	11.6	1.0	1.3	0.9	0.1	66.7	7.3
CV	7.8	3.2	112.7	15.8		25.6	12.0	3.4	2.6	0.8	0.1	76.2	16.3
CT	7.7	5.1	112.3	21.6		38.8	10.6	1.1	1.9	0.7	0.2	48.5	8.5
CB	6.9	7.2	171.0	15.5		19.0	9.4	3.4	1.3	0.9	0.0	60.8	8.8

Tradicional	7.8	4.2	112.5	18.7		32.2	11.3	2.2	2.2	0.8	0.1	62.4	12.4
Alternativo	7.6	5.7	108.7	17.5		25.9	10.8	1.4	1.1	0.9	0.2	62.8	6.5
Bosque	7.0	6.1	112.3	16.5		23.0	10.5	2.2	1.3	0.9	0.1	63.7	8.0

Typic	7.5	5.2	92.9	19.6		33.3	11.3	1.0	1.4	0.8	0.1	58.4	7.0
Vertic	7.4	5.4	129.4	15.5		20.8	10.4	2.9	1.7	0.9	0.1	67.6	11.0

### Sin Bosque

Typic	7.7	5.3	112.5	20.6		36.4	11.1	1.0	1.4	0.7	0.1	54.2	6.9
Vertic	7.6	4.5	108.7	15.5		21.7	11.0	2.6	1.9	0.9	0.2	71.0	12.1

pH: Potencial de Hidrogeno; MO: Contenido de Materia Organica; P Asim: Porcentaje de Fosforo Asimilable; CIC: Capacidad de Intercambio Cationico; CE: Conductividad Electrica; RAS: Relacion de Adsorcion de Sodio; PMgl: Porcentaje de Magnesio Intercambiable; PSI: Porcentaje de Sodio Intercambiable

**ANEXO 9.** Tabla de correlaciones de datos obtenidos.

Correlaciones									
		%E	IVE	RR5	H5	RR10	H10	EspC	EspCD
%E	Correlación de Pearson	1	,994(**)	-,605(**)	,446(**)	-,648(**)	-0.024	-,550(**)	-,391(**)
	Sig. (bilateral)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.774	0.000	0.000
	N	144	144	144	144	144	144	144	144
IVE	Correlación de Pearson	,994(**)	1	-,604(**)	,439(**)	-,646(**)	-0.026	-,546(**)	-,387(**)
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.000	0.000	0.757	0.000	0.000
	N	144	144	144	144	144	144	144	144
RR5	Correlación de Pearson	-,605(**)	-,604(**)	1	-,266(**)	,823(**)	0.071	,699(**)	,467(**)
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000		0.001	0.000	0.396	0.000	0.000
	N	144	144	144	144	144	144	144	144
H5	Correlación de Pearson	,446(**)	,439(**)	-,266(**)	1	-0.154	,490(**)	-0.104	-0.041
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.001		0.066	0.000	0.215	0.622
	N	144	144	144	144	144	144	144	144
RR10	Correlación de Pearson	-,648(**)	-,646(**)	,823(**)	-0.154	1	-,231(**)	,880(**)	,592(**)
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.066		0.005	0.000	0.000
	N	144	144	144	144	144	144	144	144
H10	Correlación de Pearson	-0.024	-0.026	0.071	,490(**)	-,231(**)	1	,206(*)	0.027
	Sig. (bilateral)	0.774	0.757	0.396	0.000	0.005		0.013	0.747
	N	144	144	144	144	144	144	144	144
EspC	Correlación de Pearson	-,550(**)	-,546(**)	,699(**)	-0.104	,880(**)	,206(*)	1	,800(**)
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.215	0.000	0.013		0.000
	N	144	144	144	144	144	144	144	144
EspCD	Correlación de Pearson	-,391(**)	-,387(**)	,467(**)	-0.041	,592(**)	0.027	,800(**)	1
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.622	0.000	0.747	0.000	
	N	144	144	144	144	144	144	144	144
**. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).									
*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).									
%E: Porcentaje de Emergencia; IVE: Índice de velocidad de emergencia; RR5: Resistencia a la Ruptura día 5 a partir de siembra; H5: Humedad en el día 5; RR10: Resistencia a la Ruptura en el día 10 a partir de la siembra; EspC: Espesor de Costra; EspCD: Espesor de Capa Disgregada									

**ANEXO 10.** Simulador de lluvia.

**Botella invertida.** Permite almacenar el agua utilizada para realizar la prueba de índice de sellado. Así mismo tiene insertado el tubo regulador de carga que permite controlar la intensidad de lluvia. Otros componentes de la botella son las válvulas de llenado de agua y vaciado de aire.



**Válvula de llenado de agua.** Esta permite recargar de agua la botella invertida, esta debe ser abierta al mismo tiempo con la válvula de vaciado de aire.

**Válvula de vaciado de aire.** Durante el llenado de la botella invertida, esta válvula permite vaciar el aire.

**Tanque formador de gotas.** Este depósito funciona a presión atmosférica y la carga sobre las agujas se controla con el tubo de salida de la botella invertida.

**Dispositivo para eliminar la lluvia.** Esta parte del equipo es móvil y gira alrededor de uno de los ejes de soporte del simulador, y permite cortar la lluvia sobre el suelo en el momento que se requiera.

**Soporte para muestras de suelo.** Sobre esta plataforma se colocan los suelos una vez se hayan depositado sobre 4 contenedores cilindros disponibles. Este soporte permite la variación de la pendiente a la que se encuentran los suelos a estudiar.

**Motor.** Este permite mantener en constante movimiento las muestras de suelo con el fin de que las gotas de lluvia simulada no golpeen el mismo sitio durante el ensayo. El número de revoluciones por minuto se deben ajustar mediante la caja de velocidades del motor a 3 rpm.

### **ANTES DE USAR EL SIMULADOR DE LLUVIAS**

- Lo primero que se debe hacer es lavar tanto el tanque formador de gotas como la botella invertida. En el caso del lavado del tanque formador de

gotas es necesario tener en cuenta que las agujas tienen insertado alambres de cobre, con los que se debe tener cuidado al momento del lavado. Igualmente al manipular la botella invertida se debe tener cuidado con el tubo regulador de carga, el tapón goma, una abrazadera que permite sostener el tapón a la botella y las válvulas de carga de agua y vaciado de aire.

- Una vez el simulador este cargado es necesario que el **Dispositivo para eliminar la lluvia** este colocado bajo el tanque formador de lluvia con el fin de evitar la caída de agua sobre el motor y sobre el suelo antes de iniciar las determinaciones.
- Para iniciar el trabajo con el simulador de lluvia, el motor debe estar ajustado a una velocidad de giro de 3 rpm.
- Verificar la calibración de intensidad del equipo.

**ANEXO 11.** Ficha técnica del Álcali Orgánico utilizado.**FICHA TECNICA****HUMI SOIL®**
**Acondicionador Orgánico de Suelos  
Concentrado Soluble**

REGISTRO DE VENTA ICA PARA COLOMBIA: 3377

**Características:**

**HUMI SOIL®** es un producto a base de Ácidos Húmicos procedentes de Leonarditas, totalmente soluble en agua de riego. Ejerce una acción favorable sobre suelos y plantas, mejorando las características físico - químicas del suelo y la disponibilidad de nutrientes. Se puede aplicar a través del agua de riego, en inyección y por su contenido de ácidos fúlvicos no se descarta la aplicación foliar.

**Riquezas Garantizadas**

Extracto Húmico Total.....	15,0 %
Ácidos Húmicos.....	10,0 %
Ácidos Fúlvicos.....	5,0 %
pH en solución al 10%.....	12
Densidad a 20 °C.....	1,2 g/ml

**Dosis y modo de empleo**

**Hortalizas** (Tomate, Pimentón): Aplicación Radicular: 5 a 10 L/ha, en forma fraccionada a lo largo del cultivo

**Flores:** Aplicación Radicular: 2 L/ha por aplicación, repetir al menos 4 veces.

**Frutales:** Aplicación Radicular: 100 a 150 cc/ árbol 3 veces al año.

**Otros cultivos:** Por recomendación de un Ingeniero Agrónomo, previo análisis de suelos y/o foliar.

Km 2 Vía a Rozo. Pbx: (057) 2 2801616 – Fax: (057) 2 2801617 Palmira Colombia  
[kimelccl@telesat.com.co](mailto:kimelccl@telesat.com.co) ; [kimelagro@telesat.com.co](mailto:kimelagro@telesat.com.co)





#### **Observaciones**

Evítese la mezcla del producto con agroquímicos, con ácidos y con productos que contengan calcio.

#### **Presentaciones**

Envase de 1 Litro  
Envase de 5 Litros  
Envase de 20 Litros